



Iúri Miguel Carolino Martinho

Licenciado em Engenharia Mecânica

Estudo sobre a produção sustentável de calor para secadores de milho

Dissertação para obtenção do Grau de Mestre em Engenharia das Energias Renováveis

Orientador: Professor Doutor Nuno Lapa, Professor Auxiliar da UNL/FCT

Coorientador: Professor Doutor Mário Ventim Neves, Professor Auxiliar da UNL/FCT

Júri:

Presidente – Professor Doutor João Murta Pina (Professor Auxiliar da FCT-UNL)
Vogal (arguente) – Professor Doutor Daniel Cardoso Vaz (Professor Auxiliar da FCT-UNL)
Vogal (orientador) – Professor Doutor Nuno Lapa (Professor Auxiliar da FCT-UNL)



FACULDADE DE
CIÊNCIAS E TECNOLOGIA
UNIVERSIDADE NOVA DE LISBOA

Setembro de 2018

A Faculdade de Ciências e Tecnologia e a Universidade Nova de Lisboa têm o direito, perpétuo e sem limites geográficos, de arquivar e publicar esta dissertação através de exemplares impressos reproduzidos em papel ou de forma digital, ou por qualquer outro meio conhecido ou que venha a ser inventado, e de a divulgar através de repositórios científicos e de admitir a sua cópia e distribuição com objetivos educacionais ou de investigação, não comerciais, desde que seja dado crédito ao autor e editor.

Agradecimentos

Ao Professor Doutor Nuno Lapa, Professor Auxiliar na FCT-UNL, não só pela oportunidade em realizar este trabalho, mas também por toda a ajuda e conselhos que disponibilizou ao longo da sua elaboração. Um especial agradecimento pela paciência durante a escrita da dissertação.

Ao Professor Doutor Mário Ventim Neves, Professor Auxiliar na FCT-UNL, pela coorientação deste trabalho e pela oportunidade de realizar o Mestrado em Engenharia das Energias Renováveis.

À Elena Surra, aluna de Doutoramento da FCT-UNL, por ter seguido de perto este trabalho e pela ajuda que foi prestando ao longo da sua elaboração.

Ao Eng. João Coimbra, proprietário da Quinta da Cholda, pela oportunidade de realizar este estudo, e pelo apoio prestado durante o mesmo.

Aos meus pais. Sem eles nada disto teria sido possível e estarei eternamente grato por todas as oportunidades que me deram até aqui.

Ao Ricardo e à minha irmã, pelos conselhos dados durante este ano.

À Catarina, pela paciência e apoio que foi necessário durante este percurso.

Resumo

Na presente dissertação estuda-se uma alternativa à utilização de diesel como fonte de energética do processo de secagem de grão de milho, numa quinta situada na região da Golegã, Santarém (Quinta da Cholda). Numa primeira abordagem ao problema, avaliaram-se as necessidades energéticas atuais da quinta no processo de secagem do milho para, posteriormente, serem estudadas várias alternativas energéticas a partir de fontes de energia renovável. Foram estudados quatro tipos de sistema (i) uma caldeira a biomassa que seja capaz de fornecer toda a energia necessária ao processo, (ii) um sistema elétrico que forneça toda a energia necessária ao processo, (iii) um sistema elétrico igual ao anterior, mas com menor capacidade energética, de forma a fornecer apenas parte da energia, (iv) e por último uma caldeira a biomassa que também forneça apenas parte da energia. O objetivo dos sistemas que fornecem apenas parte da energia é reduzir as emissões associadas à queima do diesel, com um menor investimento inicial nos projetos.

Realizou-se ainda uma análise ambiental do impacto que qualquer um dos sistemas propostos poderá ter nas emissões de CO₂, em função da redução de diesel que proporciona, e uma análise económica dos investimentos, por forma a ajudar à tomada de decisão por parte dos proprietários da quinta.

Os resultados obtidos mostram que qualquer um dos sistemas propostos traz benefícios em termos da redução das emissões de CO₂, reduzindo-se assim a pegada de carbono da quinta. Dos vários sistemas estudados, os que fornecem a totalidade da energia necessária ao processo, são capazes de reduzir 100% das emissões associadas à queima de diesel, enquanto os restantes apresentam taxas de redução de emissões entre 24% e 74%.

Em termos económicos, apenas a caldeira a biomassa que fornece a totalidade da energia demonstrou ser inviável, sendo que todos os restantes apresentam bons indicadores económicos.

Palavras-chave: Emissões CO₂, Energia fóssil, Energia renovável, Indicadores económicos, Secagem de Milho

Abstract

The present dissertation aims to study an alternative way to the use of diesel as an energetic source for the corn grain drying process, in a farm located in the region of Golegã, Santarém, Portugal (Quinta da Cholda). In a first approach to the problem, the current energy needs of the farm in the maize drying process were evaluated several alternative energy sources were studied through renewable energy sources. Four types of system were studied: (i) a biomass boiler capable of supplying all the energy required for the process, (ii) an electrical system that provides all the energy required for the process, (iii) an electrical system similar to the previous, but with less energy capacity, and (iv) finally, a biomass boiler that also supplies only part of the energy to corn drying. The purpose of the systems that provide only part of the energy is to reduce the emissions associated to the fossil fuel, with low initial investment in the projects.

An environmental analysis was also carried out on the impact that any of the proposed systems could have in CO₂ emissions, as well as an economic analysis of the investments in order to assist the farm owners.

The results show that any of the proposed systems brings benefits in terms of reducing CO₂ emissions, thus reducing the carbon footprint of the farm. From the different systems studied, those that provide all the energy required for the process are able to reduce 100% of the emissions associated with the burning of diesel, while the others have emission reduction rates between 24% and 74%.

In economic terms, only the biomass boiler that supplies all the energy has proved to be unfeasible, and all the rest systems presented good economic indicators.

Keywords: CO₂ Emissions, Corn Drying, Economic Indicators, Fossil Energy, Renewable Energy

Índice de matérias

1.	Introdução.....	1
1.1.	Objetivos e carácter inovador da presente dissertação	2
1.2.	O milho	3
1.2.1.	A cultura do milho	4
1.2.2.	As necessidades energéticas da secagem do grão de milho	5
2.	Estado-da-Arte.....	7
2.1.	Bioenergia.....	7
2.2.	Energia fotovoltaica	9
2.2.1.	Legislação aplicável.....	10
2.3.	Processo de secagem do milho	11
2.3.1.	Modelos matemáticos aplicáveis à secagem do grão	11
2.3.2.	Secadores.....	13
3.	Caracterização do caso de estudo da Quinta da Cholda (Golegã, Santarém).....	21
3.1.	Descrição da Quinta, métodos de gestão e impactes no ambiente.....	21
3.2.	Produção de energia fotovoltaica na Quinta da Cholda.....	23
3.3.	Necessidade de calor para a secagem de milho	24
3.3.1.	Dados do secador utilizado na Quinta da Cholda	24
3.3.2.	Conversão do volume de diesel em quantidade de energia	26
3.3.3.	Consumos, custos e emissões específicos.....	27
3.3.1.	Resultados da análise	36
4.	Produção sustentável de calor na Quinta da Cholda	41
4.1.	Produção de energia renovável a partir de biomassa (bioenergia)	41
4.1.1.	Caldeiras a biomassa	41
4.1.2.	Pó de milho.....	43
4.1.3.	Carolo de milho.....	45
4.1.4.	Outros tipos de biomassa.....	47
4.2.	Energia fotovoltaica	48
4.2.1.	Dimensionamento das resistências elétricas	49
4.3.	Emissões de CO ₂	54

4.4.	Análise económica	56
4.4.1.	Fontes de energia fóssil e renováveis	56
4.4.2.	Equipamentos.....	59
5.	Conclusões e Sugestões de Trabalhos Futuros	67
	Referências Bibliográficas.....	69
	Anexos	75
	Anexo A – Ficha técnica do secador <i>Fratelli Pedrotti Super 100</i>	75
	Anexo B – Ficha técnica caldeira Termo-Tech OP-70	76
	Anexo C – Ficha técnica da caldeira Gilles HPKI-R 1400.....	77

Índice de figuras

Figura 1.1 – Evolução das emissões de CO ₂ com origem na queima de combustíveis fósseis	1
Figura 1.2 - Área utilizada na produção de milho, em Portugal, entre 2004 e 2017.....	3
Figura 2.1 - Modelo simplificado da combustão de biomassa	8
Figura 2.2 - Representação dos recursos energéticos disponíveis na Terra e dos consumos humanos	9
Figura 2.4 - Diagrama dos processos que ocorrem durante a secagem do grão de milho	13
Figura 2.5 - Representação dos diferentes tipos de fluxo de ar em secadores de milho	14
Figura 2.6 - Componentes de um secador da marca Fratelli Pedrotti	15
Figura 2.7 - Esquema de funcionamento de um secador da marca Fratelli Pedrotti	16
Figura 2.8 - Representação do movimento do ar e do grão no interior do secador de duplo fluxo contínuo	17
Figura 2.9 - Esquema das categorias dos secadores solares	18
Figura 2.10 - Princípio de funcionamento de um secador solar direto	18
Figura 2.11- Princípio de funcionamento de um secador solar indireto.....	19
Figura 2.12 - Princípio de funcionamento de uma caldeira a biomassa	20
Figura 3.1 - Localização da Quinta da Cholda	21
Figura 3.2 - Evolução da área de cultivo na Quinta da Cholda, nos últimos 5 anos	22
Figura 3.3 - Evolução da produtividade de milho (kg/ha) na Quinta da Cholda	23
Figura 3.4 - Impacte da energia elétrica fotovoltaica na redução de emissões de CO ₂ equivalente na Quinta da Cholda	24
Figura 3.5 - Consumo específico de energia em função da percentagem de redução de humidade no grão.....	30
Figura 3.6 – Massa específica de água evaporada em função da percentagem de redução de humidade no grão.....	31
Figura 3.7 - Consumo específico de diesel em função da percentagem de redução da humidade no grão.....	32
Figura 3.8 - Custo específico da secagem do grão de milho em função da percentagem de redução da humidade no grão.....	33
Figura 3.9 - Emissões de CO ₂ por tonelada de grão húmido em função da percentagem de redução da humidade no grão.....	35

Figura 3.10 – Consumo específico de diesel, incluindo o desvio de -22% relativamente aos dados do fabricante do secador de milho da Quinta da Cholda, em função da percentagem de redução da humidade no grão.....	37
Figura 3.11 - Consumo específico de energia, incluindo o desvio de -22% relativamente aos dados do fabricante do secador de milho da Quinta da Cholda, em função da percentagem de redução da humidade no grão.....	37
Figura 3.12 - Emissões de CO ₂ por tonelada de grão húmido, incluindo o desvio de -22% relativamente aos dados do fabricante do secador de milho da Quinta da Cholda, em função da percentagem de redução da humidade no grão	38
Figura 4.1 - Modelo do sistema elétrico constituído por uma conduta, com uma série de resistências no interior.....	48
Figura 4.2 - Modelo do sistema elétrico com 4 condutas.....	50
Figura 4.3 - Cash-flow da caldeira Gilles HPKI-R 1400 (não apresenta PRI)	64
Figura 4.4 – Cash-flow do sistema elétrico com quatro condutas, com o PRI no ano 2014	64
Figura 4.5 – Cash-flow do sistema elétrico com uma conduta, com o PRI no ano 2013	64
Figura 4.6 – Cash-flow da caldeira Termo-Tech OP-70, utilizando caroço de azeitona, com o PRI no ano 2016.....	65
Figura 4.7 – Cash-flow da caldeira Termo-Tech OP-70, utilizando casca de amêndoa, com o PRI no ano 2019.....	65

Índice de tabelas

Tabela 1.1 - Dados bibliográficos para a energia associada ao processo de secagem do grão	5
Tabela 2.1 - Poder calorífico superior de alguns tipos de biomassa	8
Tabela 2.2 - Regulação das UPAC segundo o decreto-lei nº153/2014.....	10
Tabela 2.3 – Potências nominais e eficiências internas indicadas por alguns fabricantes de caldeiras de biomassa	20
Tabela 3.1 - Dados do secador de grão de milho existente na Quinta da Cholda, da marca Fratelli Pedrotti	25
Tabela 3.2 - Interpolação para o cálculo dos valores intermédios dos dados do secador	25
Tabela 3.3. – Massa volúmica do diesel de vários fornecedores	26
Tabela 3.4 - Quantidade de diesel consumido na Quinta da Cholda	27
Tabela 3.5 – Interpolação matemática realizada com os dados fornecidos pelo fabricante do secador existente na Quinta da Cholda	28
Tabela 3.6 - Energia total prevista ser consumida, pelo fabricante, no secador da Quinta da Cholda	31
Tabela 3.7 - Preço médio de compra de diesel pela quinta entre 2013 e 2017	33
Tabela 3.8 - Emissões de CO ₂ totais e por tonelada de milho húmido colhido, entre 2013 e 2017.....	35
Tabela 3.9 - Energia total prevista ser consumida no secador da Quinta da Cholda e energia efetivamente consumida.....	36
Tabela 3.10 - Volume total de diesel previsto ser consumido no secador da Quinta da Cholda e volume efetivamente consumido.....	37
Tabela 3.11 - Consumos totais de energia e volumes de diesel, aplicando um desvio de -22% relativamente aos dados do fabricante do secador existente na Quinta da Cholda.....	38
Tabela 3.12 - Comparação dos consumos energéticos em bibliografia e dos calculados	39
Tabela 4.1 - Características das caldeiras a biomassa selecionadas para a Quinta da Cholda.....	42
Tabela 4.2 - Resultados da análise elementar ao pó de milho da Quinta da Cholda.....	43
Tabela 4.3 - Impacto do pó de milho na geração de energia para o processo de secagem de milho na Quinta da Cholda.....	45
Tabela 4.4 - Produção de carolo de milho na Quinta da Cholda, em função de dados de produção de resíduos e produtividade da cultura de milho disponíveis na bibliografia	46
Tabela 4.5 - Impacto do carolo de milho na geração de energia para o processo de secagem de milho na Quinta da Cholda.....	46

Tabela 4.6 - Massa de biomassas alternativas necessária para alimentar duas caldeiras Termo-Tech OP-70	47
Tabela 4.7 - Energia que se pode obter à capacidade máxima do sistema de secagem do grão de milho existente na Quinta da Cholda	50
Tabela 4.8 - Energia que se pode obter à capacidade máxima de uma conduta elétrica	53
Tabela 4.9 - Emissões de CO ₂ de diferentes tipos de veículos com motor a diesel	54
Tabela 4.10 - Análise comparativa das emissões equivalentes de vários tipos de veículos com motor a diesel	54
Tabela 4.11 – Poupança de diesel e redução das emissões de CO ₂ associadas ao sistema elétrico com uma conduta	55
Tabela 4.12 - Poupança de diesel e redução das emissões de CO ₂ associadas à caldeira Termo-Tech OP-70	55
Tabela 4.13 - Análise económica da utilização efetiva de diesel como fonte energética no processo de secagem do grão de milho na Quinta da Cholda	56
Tabela 4.14 - Análise económica da potencial utilização de carolo de milho como fonte energética na secagem do grão de milho na Quinta da Cholda	57
Tabela 4.15 - Análise económica da potencial utilização de energia elétrica como fonte energética na secagem do grão de milho na Quinta da Cholda	57
Tabela 4.16 - Análise económica da potencial utilização de caroço de azeitona como fonte energética na secagem do grão de milho na Quinta da Cholda	58
Tabela 4.17 - Análise económica da potencial utilização de casca de amêndoa como fonte energética na secagem do grão de milho na Quinta da Cholda	59
Tabela 4.18 - Resumo do VAL obtido para cada um dos sistemas, para um período de 10 anos	61
Tabela 4.19 - Resumo da TIR obtida para cada um dos sistemas, para um período de 10 anos	62
Tabela 4.20 - Resumo do PRI obtido para cada um dos sistemas, para um período de 10 anos	63
Tabela 4.21 – Resumo do LCOE obtido para cada um dos sistemas, para um período de 10 anos...	66

Lista de abreviaturas e simbologia

CF – *Cash Flow*

CFA – *Cash Flow* Atualizado

EPA – *Environmental Protection Agency*

GEE – Gases de Efeito de Estufa

GPS – *Global Positioning System*

LCOE – *Levelized Cost Of Energy* (Custo normalizado da energia)

O&M – Operação e Manutenção

PCI – Poder Calorífico Inferior

PCS – Poder Calorífico Superior

PRI – Período de Recuperação do Investimento

RESP – Rede Elétrica de Serviço Público

SERUP – Sistema Eletrónico de registo de UPAC e de UPP

tep – Tonelada equivalente de petróleo

TIR – Taxa Interna de Retorno

UP – Unidade Produtora

UPAC – Unidade de Produção para Autoconsumo

UPP – Unidade de Pequena Produção

VAL – Valor Atualizado Líquido

1. Introdução

O modo como a sociedade faz uso dos recursos ambientais põe em causa a capacidade que a Terra tem de fazer a sua renovação, de forma a que as próximas gerações possam também usufruir desses mesmos recursos. Devido ao alerta que temos observado nos últimos anos sobre as alterações climáticas e sobre o consumo de recursos, tem crescido também a forma como o ser humano olha para a natureza e a valoriza, procurando e criando formas de poder coexistir de uma forma sustentável com o resto dos seres vivos (Serra, 2017).

Uma forma de se definir sustentabilidade corresponde à utilização dos recursos naturais de forma a melhorar o bem-estar social e económico, sem pôr em causa a capacidade de renovação destes recursos na natureza para as gerações seguintes. Desta forma, o conceito de sustentabilidade tem de incluir as vertentes ecológica, social e económica, devido sobretudo à grande expansão social que se observou na segunda metade do século XX (Carvalho, Sobrinho, & Ramires, 2015).

Considerando a evolução populacional nas últimas décadas e a tendência para os próximos anos, é essencial adotar-se formas de criar valor económico de forma sustentável. São várias as obras que alertam para este crescimento humano e o classificam como insustentável, sob pena de o bem-estar social ser posto em causa. Um exemplo é o relatório “Nosso Futuro Comum” realizado pela comissão de Brundtland, no processo preparatório para a Conferência das Nações Unidas, em 1992 (Barbosa, 2008).

O aumento exponencial do uso de combustíveis fósseis, é um exemplo de como o ser humano fez, e faz, uso de um recurso de uma forma insustentável. A Figura 1.1 demonstra a evolução de emissões de dióxido de carbono (um gás de efeito de estufa) ao longo dos últimos anos.

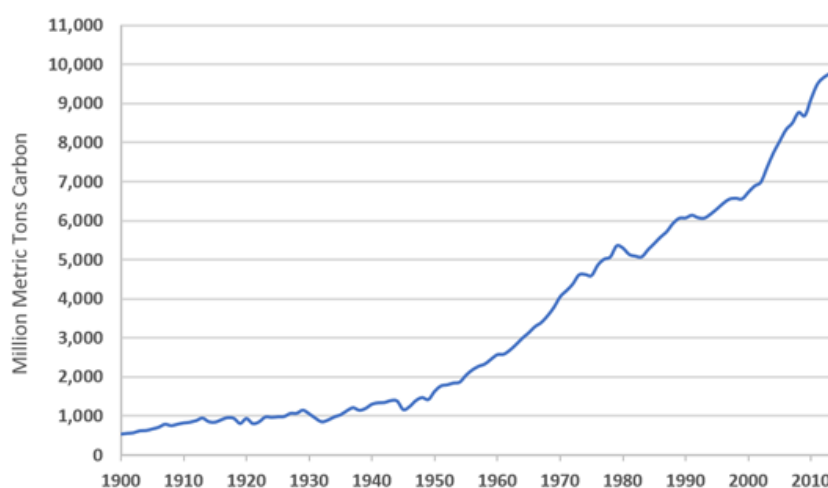


Figura 1.1 – Evolução das emissões de CO₂ com origem na queima de combustíveis fósseis (Fonte: EPA, 2018)

Este trabalho enquadra-se nesta lógica de tornar uma atividade, neste caso agrícola (secagem do milho), que atualmente tem uma grande pegada de carbono, devido ao uso de combustíveis fósseis, numa atividade mais sustentável do ponto de vista ambiental e energético, promovendo o uso de energia renovável, como a biomassa e a energia fotovoltaica.

1.1. Objetivos e carácter inovador da presente dissertação

Apesar de existirem alguns sistemas de secagem de milho que utilizam energia renovável, estes têm de ser instalados de raiz, implicando assim elevados investimentos para uma atividade que está concentrada apenas em dois a três meses do ano, não sendo assim possível obter-se a rentabilidade máxima dos equipamentos.

O principal objetivo deste trabalho é o de se reduzir as emissões de dióxido de carbono, associadas à queima de diesel na obtenção do calor necessário ao processo de secagem do grão de milho. Pretende-se que essa redução seja alcançada com a mudança energética de uma fonte fóssil para uma fonte renovável, parcial ou totalmente. Simultaneamente, tem que se garantir que o investimento realizado seja economicamente sustentável.

Existem alguns estudos publicados sobre a produção sustentável de calor para o processo de secagem do milho, onde o principal foco destes é a utilização dos resíduos resultantes da própria cultura do milho, nomeadamente do carolo de milho. Porém, o carácter inovador deste trabalho é o de se tentar adaptar um sistema de energia renovável aos secadores a diesel, atualmente existentes na Quinta da Cholda (Golegã, Santarém), como é o caso de sistemas de biomassa e energia fotovoltaica. Pretende-se também que estes sistemas parciais necessitem de um investimento inicial mais reduzido do que um sistema implementado de raiz para substituição total dos atuais secadores.

A presente dissertação encontra-se estruturada nos seguintes capítulos: No capítulo 1, designado por Introdução, apresenta-se o enquadramento do trabalho realizado, bem como os seus objetivos; No capítulo 2 apresenta-se o Estado-da-Arte relativamente à produção de energia renovável em sistemas agrícolas de produção de milho; No capítulo 3 descreve-se a situação de referência do caso de estudo da presente dissertação – a Quinta da Cholda; No capítulo 4, intitulado “Produção Sustentável de Calor na Quinta da Cholda” apresentam-se os cenários estudados e os resultados obtidos para a produção de calor, de origem renovável, destinado à secagem do grão de milho na Quinta da Cholda. O capítulo 4 inclui a análise das emissões evitadas e o estudo económico das soluções tecnológicas preconizadas neste estudo; No capítulo 5 apresentam-se as principais conclusões deste estudo e as sugestões de trabalho futuro; No final apresenta-se a lista das referências bibliográficas que serviram de suporte ao presente estudo e apresentam-se, nos anexos técnicos, as características do secador e das caldeiras estudadas nesta dissertação.

1.2. O milho

O milho (*Zea mays* L.) é uma espécie pertencente à família *Gramineae/Poacea* que existe há mais de 8000 anos (Barros & Calado, 2014). É um cereal que é cultivado em cultura de regadio e, devido ao seu elevado valor nutricional, é bastante utilizado quer para alimentação humana (grão), como também para a produção de rações para animais (silagem).

A constituição da planta do milho divide-se em duas partes: Sistema radicular e parte aérea. O sistema radicular caracteriza-se por ter um grande desenvolvimento, desempenhando um papel importante na sustentação da própria planta, uma vez que esta atinge dimensões elevadas (até cerca de 2 metros). A parte aérea é constituída pelo caule, folhas, e pela inflorescência feminina (que mais tarde dará origem à espiga, ou carolo de milho) e masculina (Barros & Calado, 2014).

Atualmente, o milho corresponde à cultura agrícola que maior área ocupa em Portugal. Devido ao grande contributo da barragem do Alqueva para o crescimento das culturas de regadio, a região do Alentejo é aquela onde se observa uma maior exploração desta cultura (INE, 2018). Apesar disso, a sua exploração tem vindo a diminuir ao longo dos últimos anos (Figura 1.2). Esta diminuição deve-se ao facto de os agricultores serem obrigados a praticar uma diversificação de culturas, para obterem acesso aos apoios financeiros da componente ambiental. Outro motivo que leva a uma diminuição da área de cultivo é a instabilidade climática que temos sentido nos últimos anos; no caso do milho, precipitações intensas durante o período de sementeira têm impedido a germinação adequada, obrigando os agricultores a recorrerem a variedades de ciclo curto que, conseqüentemente, tem menor produtividade (INE, 2018)

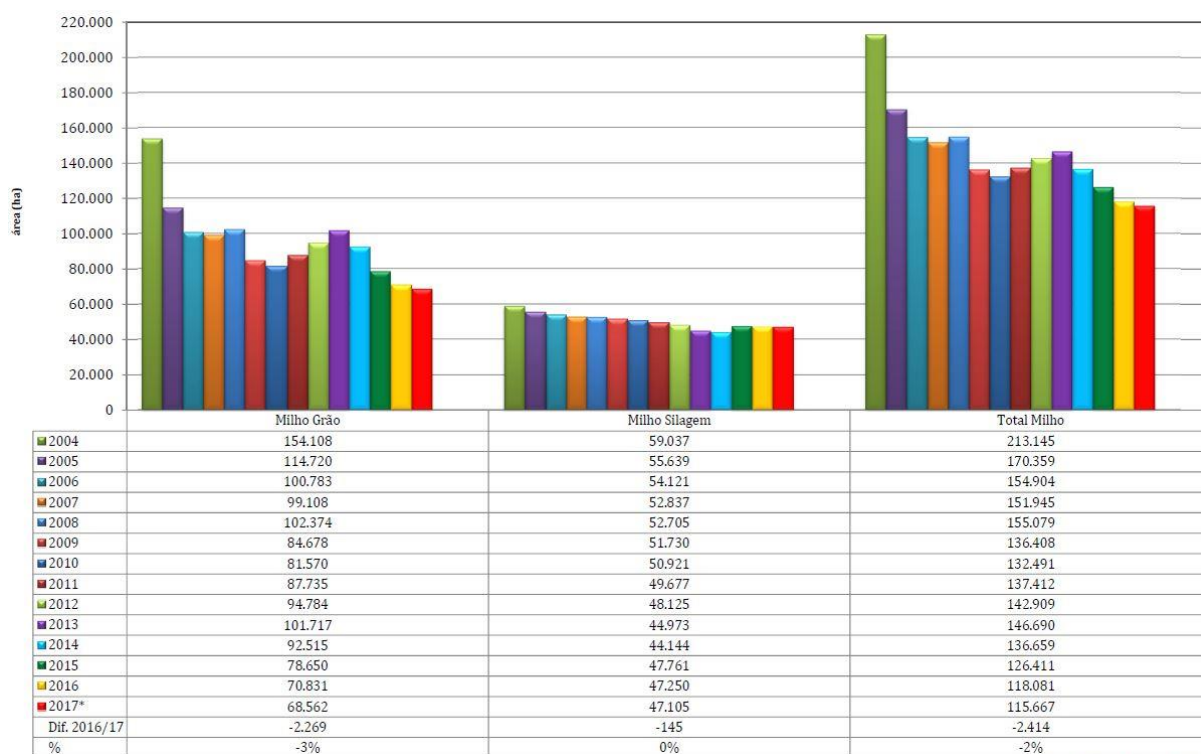


Figura 1.2 - Área utilizada na produção de milho, em Portugal, entre 2004 e 2017 (ANPROMIS, 2017)

Segundo o Instituto Nacional de Estatística (INE), a produção de milho, em 2017, ficou-se pelas 745 000 toneladas, cerca de mais 35 000 toneladas do que no ano anterior, com uma área de cultivo de 86 520 hectares (INE, 2018).

A produção deste cereal, a nível mundial, em 2017, foi de 1 060 107 470 toneladas, ocupando 187 959 116 hectares. A nível Europeu, a produção de milho, em 2017, foi de 62 667 522 toneladas, com uma área de cultivo de 8 819 956 hectares (FAO, 2018). Em termos de percentagem, Portugal representa 1,2% da produção Europeia de milho e 0,07% da produção mundial.

Em função das suas características, existem cinco categorias para as variedades de milho: milho dentado, milho liso, milho “pipoca”, milho farinhento e milho doce (Belo, 2012). Por exemplo, por ser colhido ainda numa fase imatura, o milho doce tem mais conteúdo de açúcar, o que lhe confere essa designação. Já o milho dentado apresenta um elevado teor de amido e baixo teor de proteínas (Belo, 2012).

1.2.1. A cultura do milho

O processo produtivo do milho pode ser descrito em cinco etapas principais: sementeira, fertilização e rega, colheita, secagem e armazenamento. A campanha do milho começa exatamente depois da última campanha acabar, devendo-se proporcionar aos solos o devido descanso durante esta fase, por forma a que o processo de mineralização ocorra naturalmente (ANPROMIS, 2018).

Devido às condições climáticas que se fazem sentir em Portugal, a altura indicada para realizar a sementeira é entre o final de março e o final de abril, podendo este período variar em função do ciclo da semente utilizada, do tipo de solo e das condições climáticas no ano de produção (Barros & Calado, 2014). Contudo, existe algum trabalho de preparação antes de se realizar a sementeira, devido sobretudo à necessidade de controlar as espécies infestantes que podem pôr em causa a campanha do milho.

Este trabalho de controlo das infestantes é realizado com herbicidas, que devem ser utilizados na menor quantidade possível. Isto permite evitar (i) a contaminação dos solos com produtos químicos desnecessários, (ii) a infertilidade dos solos e a sua erosão, bem como (iii) a redução da biodiversidade das espécies não-alvo existentes na região onde se localiza o campo agrícola (ANPROMIS, 2017)). Após o período da sementeira, a rega e a adubação têm um papel essencial para um bom desenrolar da campanha do milho, fornecendo água e os nutrientes essenciais ao seu crescimento.

A colheita do milho é feita consoante o seu estado de maturação. Quando é destinado à silagem (transformado para alimentação animal), o milho é colhido ainda verde, o que corresponde aproximadamente ao período compreendido entre a segunda quinzena de agosto e a primeira de setembro. Se for destinado à produção de milho, o milho é colhido já maduro, apresentando teores de humidade menores do que o milho para silagem. Logo a seguir à colheita, o grão é seco de forma a retirar a humidade do seu interior, de forma a ser armazenado como produto final (Barros & Calado, 2014).

O presente estudo incide sobre esta última fase da cultura de milho, onde existem grandes necessidades energéticas para a produção de calor destinado à secagem do grão.

1.2.2. As necessidades energéticas da secagem do grão de milho

A secagem do grão de milho é uma das principais áreas de consumo energético nesta cultura. Devido à necessidade de se obter calor através de uma fonte externa, fonte essa que é habitualmente um combustível fóssil, como o diesel, diversos estudos indicam que a utilização de temperaturas de secagem mais elevadas permite aumentar a eficiência do processo; porém, um aumento demasiado elevado da temperatura pode comprometer a qualidade do grão e conduzir a desperdícios de energia (Jokiniemi & Ahokas, 2014).

Estes estudos demonstram também que o consumo típico de energia, por um secador de grão, pode variar consoante diversos fatores, como por exemplo a humidade inicial do grão após a colheita, a humidade que se pretender atingir após a secagem, as condições climáticas do local (humidade e temperatura ambiente), entre outros fatores (Brinker, 2010). A Tabela 1.1 contém alguns valores encontrados em bibliografia para diversos tipos de secadores de grão. Estes valores indicam a energia necessária (kWh), por cada unidade de massa (kg) de água evaporada do grão. Os conceitos do tipo de secador e da energia necessária ao processo, que se apresentam na Tabela 1.1, são descritos mais à frente neste trabalho.

Tabela 1.1 - Dados bibliográficos para a energia associada ao processo de secagem do grão

Energia (kWh/kg _{água})	Tipo de secador	Referência
1,22	Fluxo cruzado contínuo	(Brinker, 2010)
0,7	Fluxo misto	(Brinker, 2010)
0,7 - 1,2	Fluxo cruzado e fluxo misto	(Jokiniemi & Ahokas, 2014)
1,1 – 2,2	Generalidade dos secadores	(Jokiniemi & Ahokas, 2014)
0,7	Secadores de lote	(A.G. Meiering, T.B. Daynard, R. Brown, 1976)

Jokiniemi & Ahokas (2014) afirmam ainda que ao se aumentar a temperatura de secagem de 70°C para 130°C, consegue-se aumentar a eficiência energética de 0,94 kWh/kg_{água}, para 0,9 kWh/kg_{água}; mas, para temperaturas mais elevadas, a diminuição de rendimento do processo é bastante elevada, aumentando assim o consumo de energia por cada unidade de massa de água evaporada.

Esta análise permitiu, numa fase mais adiantada deste trabalho, comparar estes valores com os obtidos para o caso específico da Quinta da Cholda.

2. Estado-da-Arte

2.1. Bioenergia

O termo “Bioenergia” provém da utilização de produtos derivados de matéria orgânica que podem ser utilizados como fonte de energia, estando a sua origem associada a matérias-primas vegetais, ou mesmo a certos tipos de resíduos biológicos resultantes de atividades humanas (fração orgânica de resíduos sólidos urbanos, lamas de estações de tratamento de águas residuais, resíduos agrícolas, resíduos agropecuários, entre muitos outros resíduos orgânicos). Na sua essência, pode-se considerar que a Bioenergia é a energia solar retida nas plantas e nos animais, sob a forma de energia química, levando alguns autores a distinguirem entre bioenergia natural e produtos derivados de materiais naturais (Vargas-moreno, Callejón-ferre, Pérez-alonso, & Velázquez-martí, 2012). Enquanto que bioenergia natural é a energia obtida diretamente a partir da queima de biomassa, por exemplo, a bioenergia derivada de materiais naturais é aquela que se obtém a partir de, por exemplo, a digestão anaeróbia de alguns produtos naturais, para a obtenção de biogás.

Entre as várias formas de energia renovável que se conhecem hoje em dia, nomeadamente a eólica, a fotovoltaica, hídrica, solar térmica, entre outras, a biomassa corresponde a cerca de 15 a 20% do consumo energético mundial de energias renováveis, sendo que as expectativas são de que a percentagem energética que a biomassa representará, no futuro, esteja entre 20 a 30% deste consumo mundial (Vargas-moreno et al., 2012). É ainda importante lembrar que, durante a queima de matéria vegetal, o carbono contido nas plantas reage com o oxigénio do ar, dando origem a dióxido de carbono (CO_2) que é libertado na atmosfera. Contudo, esta emissão ocorre porque a planta, durante o seu crescimento, ao realizar a fotossíntese, absorve esse mesmo dióxido de carbono do ar, o que resulta num balanço de emissões neutro para a atmosfera: o que a planta absorve é emitido durante a combustão (McKendry, 2002). Isto é verdade se o sumidouro de CO_2 (floresta, cultura agrícola, etc.) for mantido em crescimento, de modo a evitar a ocorrência de um défice de CO_2 entre a emissão e a sua fixação ao longo do tempo de crescimento da planta.

Uma das formas de se obter energia através da biomassa é a utilização da biomassa celulósica e lenho-celulósica, proveniente dos resíduos agrícolas ou de biomassa florestal. Contudo, um elevado teor de humidade faz aumentar o seu custo, devido à maior dificuldade de processamento, transporte e armazenamento, uma vez que a água, nela contida, acrescenta massa no transporte; simultaneamente, a valorização energética torna-se mais complexa, devido à redução do seu poder calorífico. Estes fatores podem, porém, ser atenuados através da redução da humidade e da sua densificação, em particular no que diz respeito às biomassas com reduzida densidade, como as palhas de cereais (Jamradloedluk & Lertsatitthakorn, 2017).

A combustão é uma das vias de obtenção de energia a partir da biomassa. Na Figura 2.1 apresenta-se um modelo simplificado das variáveis e produtos envolvidos neste processo. A obtenção de energia faz-se sob a forma de calor que pode, posteriormente, ser convertida para outros tipos de energia (Demirbas, 2005).

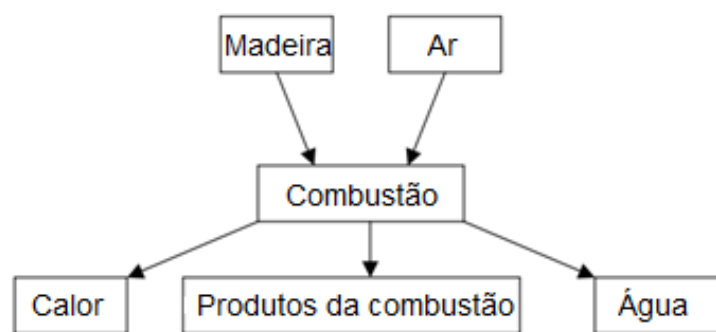


Figura 2.1 - Modelo simplificado da combustão de biomassa (Adaptado de Demirbas, 2005)

A variável de medida para se avaliar o conteúdo energético da biomassa é o poder calorífico, o qual se pode exprimir em poder calorífico superior (PCS) ou poder calorífico inferior (PCI). O primeiro (PCS) diz respeito à energia libertada durante a combustão, somando também a energia consumida para vaporizar a água contida na biomassa e a água resultante da oxidação do hidrogénio. Já o PCI representa apenas a energia útil libertada durante a combustão, após a dedução da energia necessária para vaporizar a água contida na biomassa e a água resultante da oxidação do hidrogénio. Numa situação em que a biomassa apresenta 0% (m/m) de humidade, o PCI assume um valor muito próximo do PCS. Na Tabela 2.1 apresentam-se valores do PCS para diferentes tipos de biomassa.

Tabela 2.1 - Poder calorífico superior de alguns tipos de biomassa

Biomassa	PCS (MJ/kg)	Referência
Casca de arroz	14,5	(Nhuchhen & Abdul Salam, 2012)
Pinheiro	16,44	(Parikh, Channiwala, & Ghosal, 2005)
Palha de milho	17,8	(Nhuchhen & Abdul Salam, 2012)
Eucalipto	18,64	(Parikh et al., 2005)
Espiga de milho	18,8	(Parikh et al., 2005)
Casca de carvalho	22	(Demirbas, 2005)

Apesar da casca de carvalho apresentar o PCS mais elevado desta Tabela 2.1, é de salientar o potencial energético que está disponível em duas das partes constituintes do milho (espiga e palha), o que reforça a ideia dos estudos para valorizar este subproduto da cultura de milho.

2.2. Energia fotovoltaica

De todas as formas de energia que se conhecem na terra, a energia solar é aquela que apresenta o maior fluxo anual, fornecendo cerca de 23000 TWhano; para se ter um noção da dimensão significativa deste valor, pode-se indicar que o consumo elétrico mundial, em 2015, foi na ordem dos 18,3 TWh (Perez & Perez, 2015). A Figura 2.2 demonstra que a disponibilidade energética que o sol apresenta é superior a qualquer outra, sejam estas renováveis ou não renováveis; uma vez que a potência mundial instalada, em 2016, era de 227 GW (World Energy Council, 2018), é de salientar a enorme margem de aproveitamento que ainda se pode retirar desta fonte energética.

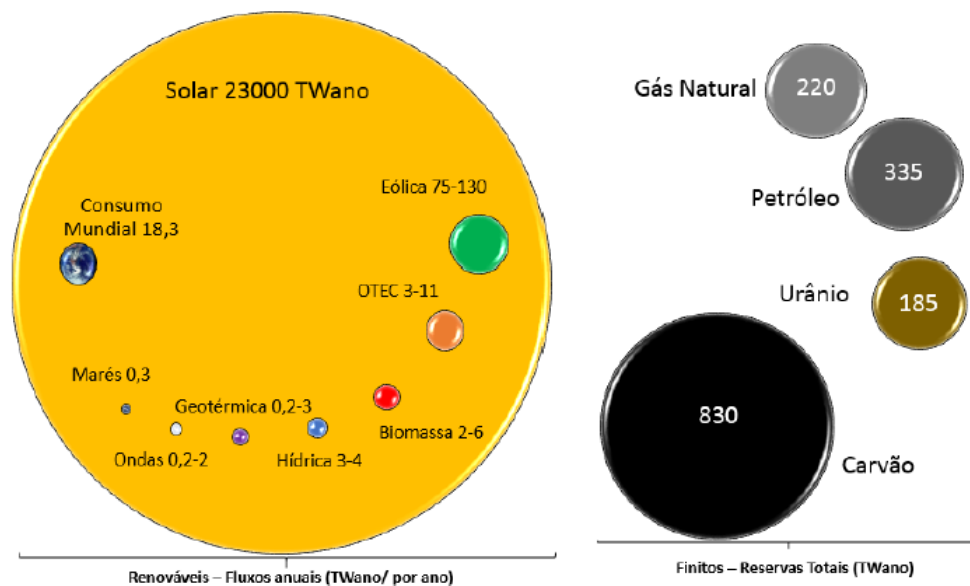


Figura 2.2 - Representação dos recursos energéticos disponíveis na Terra e dos consumos humanos (Fonte: Eusébio, 2017)

Contudo, a grande dificuldade de implementação da energia fotovoltaica está associada à dependência do Sol para ser útil e, como este apresenta uma grande variabilidade diária e anual, é necessário recorrer a sistemas auxiliares de produção de energia durante os períodos de menor ou total ausência de disponibilidade de radiação solar (Eusébio, 2017). Estes fatores, aliados ao facto das condições climáticas nem sempre permitirem que se aproveite todo o recurso solar, fazem com que se torne essencial equilibrar o uso desta tecnologia com outras independentes do Sol, como a eólica, a hídrica, a bioenergia, a geotermia ou a energia das ondas e marés. De acordo com a World Energy Council (2018), Portugal tinha, em 2016, uma potência instalada em energia fotovoltaica de 451 MW, o que corresponde a um valor bastante inferior em comparação com a eólica (5,03 GW) e a hídrica (5,9 GW); esta situação mostra uma clara política de aposta nestas duas últimas formas de energia renovável, uma vez que garantem uma maior disponibilidade. Tendo em conta que Portugal é o segundo país na Europa, atrás da Grécia, com maior potencial de aproveitamento da energia solar (Filipe & Pereira, 2015), existe ainda uma grande margem de progressão nesta área, podendo ser aproveitado o facto do amadurecimento da tecnologia provocar uma diminuição do seu custo de produção.

2.2.1. Legislação aplicável

Devido à crescente procura de energia fotovoltaica, surgiu naturalmente a regulamentação desta área com o decreto-lei nº 153/2014, que estabelece o regime jurídico aplicável à produção de energia elétrica através de “Unidades de Produção para Autoconsumo” (UPAC) e para as “Unidades de Pequena Produção” (UPP). No caso do autoconsumo, toda a energia produzida é consumida no local, sem prejuízo do excesso ser injetado na rede elétrica de serviço público (RESP), enquanto que, para as UPP, toda a energia produzida é vendida à rede, estando as UPP limitadas a uma potência de 250 kW.

A Tabela 2.2 resume os requisitos para a atividade das UPAC, sendo o registo destas feito através do “Sistema Eletrónico de Registo da UPAC e da UPP” (SERUP). Os requisitos de produção das unidades produtoras (UP) definem que a produção anual deve ser inferior às necessidades de consumo e o excedente deve ser vendido à rede, desde que a UP esteja registada no SERUP.

Tabela 2.2 - Regulação das UPAC segundo o decreto-lei nº153/2014

Potência	< 200 W	200 – 1500 W	1,5 kW – 1 MW	> 1 MW
Registo	-	Comunicação (SERUP)	Comunicação (SERUP)	Comunicação (SERUP)
Certificado de exploração	-	-	Obrigatório	Obrigatório + licença produção
Taxa de registo	-	-	Consoante a potência instalada	Obrigatório
Telecontagem	-	-	Obrigatório	Obrigatório
Seguro resp. civil	-	-	Obrigatório	Obrigatório

Já as UPP regem-se por outro tipo de metodologia em que, em cada ano civil, apenas se pode atribuir uma cota de 20 MW, estando cada produtor limitado a 250 kW de potência máxima. Estas UP estão restringidas a uma produção anual em que o consumo de energia da própria instalação tem de ser igual ou superior a 50% da energia produzida nesse ano.

Para estabelecer o regime remuneratório da venda de energia, existem três categorias nas quais o produtor pode optar pelo registo:

- Categoria 1 – Produtores que pretendam apenas a instalação de uma UPP;
- Categoria 2 – Produtores que combinem uma UPP com uma tomada elétrica, para carregamento de veículos elétricos no local de consumo, ou seja, proprietário de um veículo elétrico;
- Categoria 3 – Produtores que combinem uma UPP com a instalação de coletores solares térmicos no local de consumo, com uma área útil mínima de 2 m² de coletor ou de caldeira a biomassa com uma produção anual térmica equivalente.

2.3. Processo de secagem do milho

De forma a obter-se uma melhor qualidade no produto final, os agricultores optam por colher o milho num período perto da sua maturação fisiológica. Isto permite manter o milho guardado durante um período limitado, sem que este sofra ataques por parte de microrganismos e insetos, o que resultaria numa depreciação da sua qualidade. Devido a este método o milho é colhido com teores de humidade elevados, o que implica que tenha que ser submetido a secagem, por forma a baixar-se o teor de humidade para valores perto de 14% (m/m) (Corrêa et al., 2011). Corrêa et al. (2011) afirmam ainda que o processo de secagem do milho permite que os microrganismos e as suas enzimas, os quais se encontram dependentes da água para a sua atividade, tenham menos condições para causarem degradação da qualidade do grão.

O processo de secagem consiste na desidratação do material; ao fazer-se circular, pela face exterior do grão, uma massa de um corpo aquecido, como por exemplo ar, esta faz com que a humidade evapore e seja transportada, juntamente com ela, para fora do grão em secagem. Este processo decorre até que se atinja a humidade pretendida; contudo, a capacidade do ar para retirar a água do grão depende fortemente da temperatura de aquecimento (Muhammadu Masin & Abraham Adebayo, 2012). Este processo pode ser feito em terreno aberto onde se coloca o material sob a radiação solar, de forma a que esta o aqueça e evapore a humidade, ou com o auxílio de secadores de grão que aceleram o processo, reduzindo os riscos de ataques biológicos.

Esta etapa é por isso fundamental para a qualidade do produto final, uma vez que depois desta fase o grão irá ser armazenado, pelo que as melhores condições de secagem permitem obter um produto de melhor qualidade, quando este for processado. Desta forma, recorre-se a secadores concebidos especificamente para a secagem de produtos agrícolas para se obter um melhor processo de secagem. No entanto, este é um processo que requer um controlo rigoroso, uma vez que, devido às elevadas temperaturas que se praticam nos secadores (face às que se registam na secagem solar), o grão pode, por exemplo, abrir fendas, o que os torna suscetíveis a ataques microbiológicos durante o armazenamento (Barrozo, Felipe, Sartori, & Freire, 2006). Barrozo et al. (2006) afirmam que, utilizando secadores que promovam o deslocamento do grão no seu interior, pode-se aumentar o risco de danos mecânicos no mesmo, pelo que a sua utilização deve também ser alvo de controlo.

2.3.1. Modelos matemáticos aplicáveis à secagem do grão

Uma vez que as condições de secagem possuem inúmeras variáveis, desde a humidade com que o grão é colhido e com que dá entrada no secador, às temperaturas e caudal do fluxo de ar, existem modelos matemáticos que conseguem prever de que forma o processo de secagem se irá desenrolar. Estes modelos permitem ainda prever qual o melhor método de secagem para o local onde se pretende realizar essa etapa, permitindo assim otimizar o tempo de armazenamento do grão após a colheita, uma vez que uma secagem adequada aumenta a qualidade do grão (Corrêa et al., 2011).

Os fatores tidos em conta nestes modelos são a transferência de calor e de massa entre o grão e o ar, a transferência de calor e humidade no interior do grão, desvios do estado de equilíbrio entre o

grão e o ar de secagem, bem como variações das propriedades físicas do ar, vapor de água e do grão, devido às variações da temperatura e humidade (Khatchatourian, Vielmo, & Bortolaia, 2013).

Modelo de Thompson

No modelo de Thompson são simuladas as condições de secagem, tais como o fluxo de ar e de grãos, as condições físicas do próprio ar, a espessura da camada do grão e também o seu teor de humidade inicial. Este modelo simula as alterações que vão ocorrendo no processo de secagem durante pequenos incrementos no intervalo de tempo (Eduardo, Cavalcanti Mata, Dantas, & Duarte Braga, 1999).

Eduardo et al. (1999) elaboraram um diagrama que permite representar as alterações que são simuladas nestes intervalos de tempo, durante o processo, numa camada fina de grão. A Figura 2.4 representa esse diagrama onde existem duas entradas e duas saídas: o ar de secagem e o grão de milho.

O fluxo de ar de secagem, ao entrar na câmara onde se encontra o milho, apresenta duas características importantes para o processo: a temperatura e a razão de humidade. Uma vez que a temperatura deste ar é normalmente superior à temperatura do grão (exceto em casos onde a secagem é feita com o fluxo de ar à temperatura ambiente), ao entrar em contacto com o milho vai ocorrer uma troca de calor no sentido do ar para o grão, o que representa um decréscimo na temperatura do ar à saída do secador. Por outro lado, ao aumentar a temperatura do grão, este irá libertar uma certa quantidade de humidade e esta, por sua vez, irá fluir com o ar até à saída, provocando então um aumento da razão de humidade do ar à saída do secador. O teor de humidade do ar também afeta o processo de secagem do grão de milho. Quanto menor for o teor de humidade do ar, maior é a capacidade deste para transportar consigo a humidade libertada pelo grão.

O grão de milho é também caracterizado pelas mesmas variáveis: a temperatura e a humidade. O fluxo do grão evolui no sentido inverso ao do fluxo de ar, como já foi explicado anteriormente. O fluxo de ar, ao aquecer o grão, provoca uma libertação de humidade deste, fazendo com que o teor de humidade do ar à saída seja inferior. Por outro lado, a transferência de calor do ar quente para o grão faz com que este último apresente uma temperatura superior à temperatura de entrada.

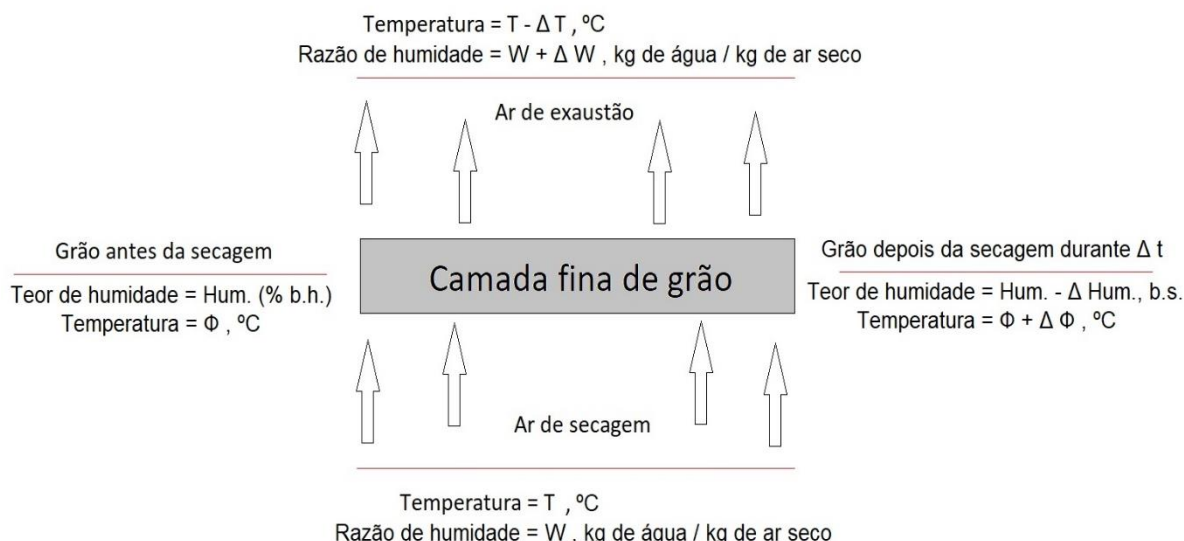


Figura 2.3 - Diagrama dos processos que ocorrem durante a secagem do grão de milho (Eduardo *et al.*, 1999)

Desta forma, um pré-tratamento do ar de entrada no secador, seja através de uma desumidificação ou de um pré-aquecimento, irá ter impactos no desenrolar do processo, uma vez que, no caso da desumidificação, o ar terá, posteriormente, uma maior capacidade para arrastar consigo a humidade do grão, e no caso de um pré-aquecimento realizado através de uma fonte energética renovável, reduz-se a utilização de combustíveis fósseis uma vez que a temperatura do ar se aproxima mais da desejada para o processo de secagem, diminuindo assim a energia complementar que será obtida através de combustíveis fósseis.

2.3.2. Secadores

A secagem do milho é um processo que já existe desde há muito tempo, começando por ser feita de forma natural, através da radiação solar, até aos dias de hoje em que é realizada com o auxílio de secadores de grão que permitem acelerar o processo.

Existem diversos métodos de secagem artificial. Porém, estes podem ser divididos em duas categorias: secadores de lote e secadores de fluxo contínuo. Os secadores de lote são assim designados devido a serem carregados com uma determinada quantidade de grão húmido, que permanece no seu interior até que se obtenha a humidade desejada. Dependendo do tipo de secador, estes podem ser estacionários (quando o grão permanece imóvel e é forçada a passagem do ar através dele), ou podem ser cíclicos (quando se promove o movimento do grão no interior do secador) (A.G. Meiering, T.B. Daynard, R. Brown, 1976).

Secadores de fluxo contínuo são aqueles que promovem o movimento constante de entrada e saída de grão no seu interior, até que se atinja a humidade desejada para o armazenamento. Estes secadores são utilizados com frequência quando existem grandes volumes de produção de milho, não necessitando de tanta supervisão como acontece com os secadores de lote (Muthukumarappan & Singha, 2010). Estes secadores podem ainda ser classificados consoante o movimento do ar na passagem pelo grão (Figura 2.5).

O elemento que provoca a evaporação da humidade do grão é o ar aquecido no interior do secador. Este pode ser encaminhado de três formas: perpendicularmente ao grão (fluxo cruzado), na mesma direção do grão (fluxo concorrente), ou em direção oposta à do grão (contracorrente) (Barrozo et al., 2006). Existem ainda secadores de fluxo misto, em que o ar aquecido no interior do secador pode ter movimentos concorrentes e cruzados, em relação ao movimento do grão.

Barrozo et al. (2006) afirmam que existem algumas diferenças no resultado final, para cada tipo de fluxo de ar utilizado; por exemplo, enquanto o fluxo de ar concorrente garante uma maior homogeneidade na secagem do grão, o fluxo de ar cruzado requer uma menor diferença de pressão para atravessar a camada de milho.

A Figura 2.5 demonstra este movimento de ar no interior dos secadores. As setas a tracejado representam o movimento do ar aquecido, e as linhas contínuas representam o movimento do grão no interior do secador (Muthukumarappan & Singha, 2010)

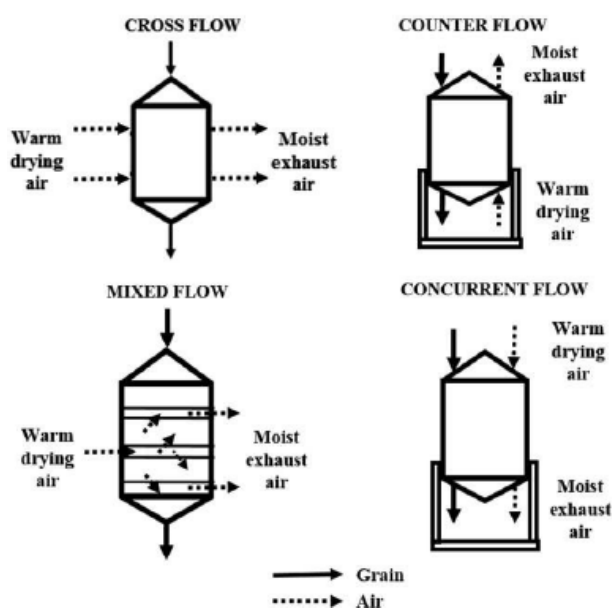


Figura 2.4 - Representação dos diferentes tipos de fluxo de ar em secadores de milho (Muthukumarappan & Singha, 2010)

Os secadores de milho necessitam de uma fonte de calor externa, que pode ser obtida através da queima de diesel, gás natural, biomassa, ou a partir de energia elétrica. A única exceção são alguns secadores solares de lote, que se caracterizam por uma situação intermédia entre secagem artificial e natural, uma vez que utilizam a radiação solar suportada por uma fonte de um combustível fóssil (Casemg, 2016).

É com base nestas diferenças que os fabricantes desenvolvem as suas tecnologias, aproveitando o que cada método tem de melhor, de forma a garantir um produto final de qualidade, e que permita o armazenamento do grão em condições ótimas. Apresentam-se seguidamente os diferentes sistemas existentes no mercado, bem como algumas tecnologias de secagem que fazem uso de energia renovável.

2.3.2.1. Secadores de lote, de fluxo cruzado, da marca Fratelli Pedrotti

Os secadores da marca *Fratelli Pedrotti* caracterizam-se por terem um fluxo de ar de secagem perpendicular ao fluxo de deslocação do grão dentro do secador, ou seja, classificam-se como secadores de fluxo cruzado. Este corresponde ao tipo de secador atualmente utilizado na Quinta da Cholda (Figura 2.6), existindo mais fabricantes com este tipo de secador nos seus catálogos.

Este sistema é composto por três secções distintas: no centro, uma coluna vertical composta por um parafuso sem fim, uma caixa interna e uma caixa externa, sendo que ambas são compostas por paredes perfuradas que permitem a passagem do ar, mantendo o grão no seu interior. Na Figura 2.6 podemos ver uma representação de um secador de fluxo cruzado do fabricante *Fratelli Pedrotti*, estando assinaladas as várias secções principais que o constituem.

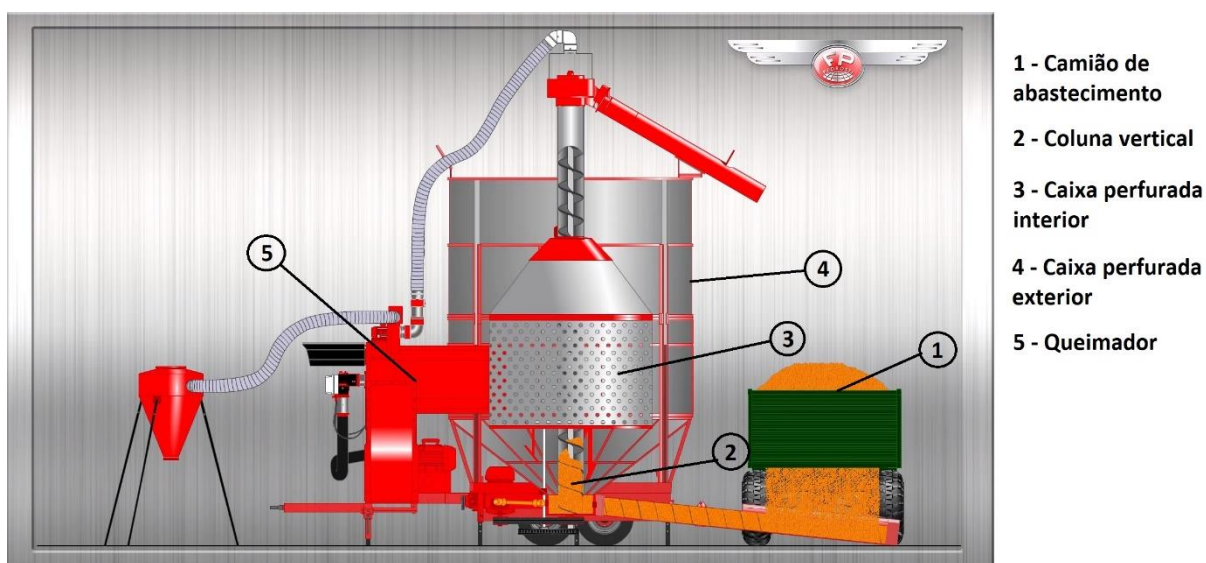


Figura 2.5 - Componentes de um secador da marca Fratelli Pedrotti (Fratelli Pedrotti, 2018)

Antes de se iniciar o processo de secagem no interior, o camião de abastecimento descarrega uma quantidade de milho até à capacidade máxima do secador. Esta entrada de grão é feita através de um parafuso sem fim, que por sua vez alimenta a coluna vertical, levando o grão até ao topo do secador. Ao chegar ao topo do secador existe um sistema de extração que remove os resíduos contidos no grão, bem como o vapor de água resultante da secagem. A partir daqui o grão começa a cair para a caixa exterior do silo, que também é perfurada, até que chegue novamente ao topo deste. Quando o silo está totalmente cheio, remove-se a alimentação de grão húmido e dá-se início ao processo de secagem (Fratelli Pedrotti, 2018).

Quando o silo está totalmente cheio e o grão no seu interior tem um fluxo de acordo com as setas azuis indicadas na Figura 2.7, o queimador é ligado e o ar quente começa a entrar no interior do silo, a uma temperatura de cerca de 130°C (Coimbra, 2018). Este ar quente, proveniente do queimador, é direcionado para a caixa perfurada interior onde o grão é puxado para cima pelo sem-fim. Devido ao facto da caixa interior ser perfurada, o ar passa a parede na direção da caixa exterior, onde o grão se encontra em fluxo descendente. Por sua vez, esta caixa exterior, ao ser também perfurada, permite

que o ar quente saia do silo, levando consigo a humidade evaporada do grão (Ahmad, Mirani, Mahmood, & Saeed, 2014).

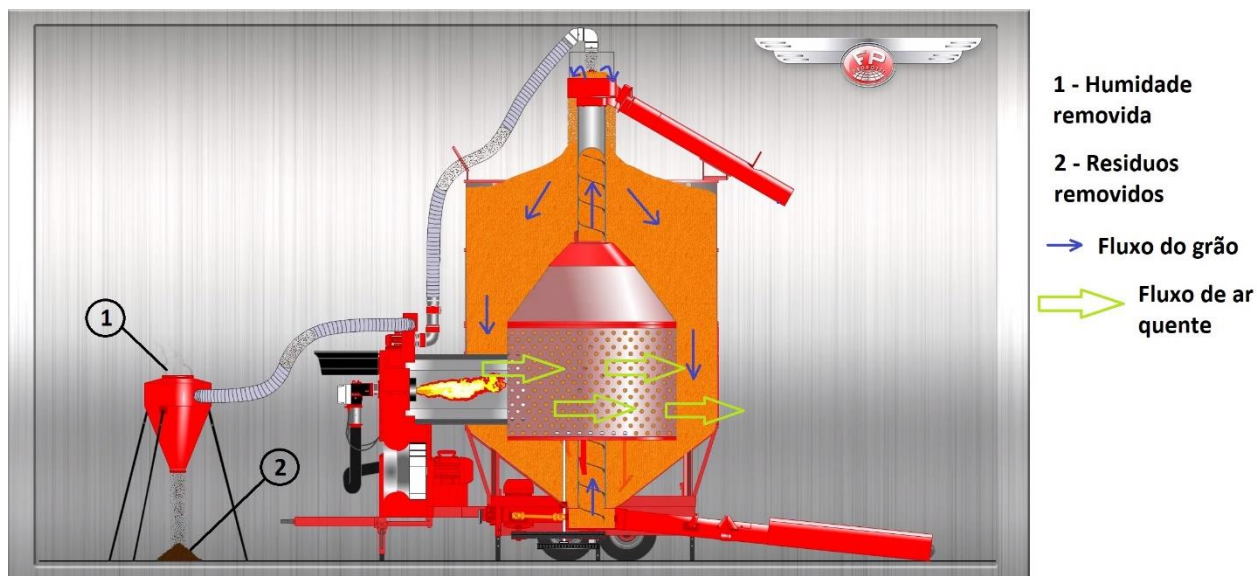


Figura 2.6 - Esquema de funcionamento de um secador da marca Fratelli Pedrotti (Fratelli Pedrotti, 2018)

Este fabricante de secadores possui vários modelos que se adaptam a diferentes quantidades de milho a serem secas diariamente. Os secadores mais básicos processam 25 a 55 toneladas de milho por dia e os maiores processam 130 a 190 toneladas por dia (Fratelli Pedrotti, 2018).

O secador utilizado na Quinta da Cholda tem uma capacidade de 10 toneladas por cada ciclo de enchimento, correspondendo ao modelo *Fratelli Pedrotti Super 100*. A título informativo, a sua ficha técnica encontra-se no anexo A do presente documento.

Tal como já foi referido, este tipo de secadores caracteriza-se por uma maior facilidade de escoamento do ar aquecido, uma vez que este não tem de atravessar toda a camada de grão existente no secador. Porém, devido a este fator, a secagem do grão pode não ocorrer de forma homogénea, caso não seja bem controlada, o que pode originar problemas no seu armazenamento. Outro aspeto negativo neste modelo é que os produtos da combustão são direcionados para a secagem do grão, arrastando consigo as partículas da combustão para o interior do secador, e estas por sua vez entram em contacto com o grão. Porém, o fabricante disponibiliza a opção de utilizar um permutador de calor, podendo assim isolar o grão dos produtos da combustão do diesel (Fratelli Pedrotti, 2018). A única limitação do permutador é a diminuição da temperatura máxima atingida: sem o permutador conseguem-se atingir temperaturas na ordem dos 130°C, enquanto que com o uso do permutador não se atingem temperaturas superiores a 110°C.

2.3.2.2. Secadores de duplo fluxo contínuo de grão, com fluxo cruzado, da marca Alvan Blanch

Este fabricante possui dois modelos de secadores de fluxo contínuo, um de duplo fluxo e outro de fluxo único. A diferença entre estes modelos reside no facto deste último fazer o movimento do

grão no seu interior em apenas uma direção, enquanto que o primeiro realiza o fluxo do grão em dois sentidos (Alvan Blanch, 2018).

O conceito do sistema de duplo fluxo contínuo consiste em fazer com que o grão tenha duas passagens pelo ar de secagem. A Figura 2.8 representa este tipo de secadores. O grão segue o fluxo representado pelas setas azuis, caindo para um nível inferior quando chega à extremidade direita do secador, invertendo o sentido nesse instante. O ar quente é sempre direcionado no sentido ascendente e, como o ar quente entra entre os dois pisos do secador, existe uma caixa (número 1), que faz a passagem do ar quente para a parte inferior do secador, permitindo assim o movimento ascendente do ar também nesta secção, arrastando consigo a humidade do grão (Alvan Blanch, 2018). Este modelo possui ainda um sistema de recirculação do ar, em que o ar aquecido, que já passou pelo grão, é direcionado novamente para o queimador, permitindo assim reduzir os consumos de energia em cerca de 15% relativamente a um secador que introduz permanentemente ar ambiente no sistema.

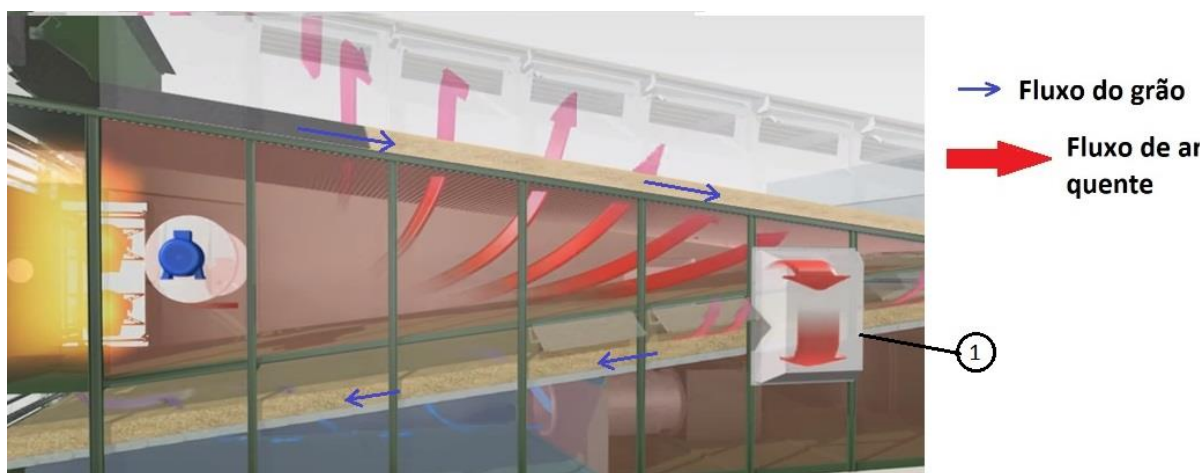


Figura 2.7 - Representação do movimento do ar e do grão no interior do secador de duplo fluxo contínuo (Alvan Blanch, 2018)

Os controlos da velocidade da cama de grãos e da temperatura de entrada permitem obter a humidade desejada no grão à saída do secador, com uma única passagem (em dois sentidos) no interior do secador. Este secador é ainda bastante vantajoso por não possuir peças móveis em contacto com o grão e que provoquem danos mecânicos neste (o grão permanece estacionário em tapetes rolantes), o que aumenta a sua qualidade na fase seguinte de armazenamento (Barrozo et al., 2006).

2.3.2.3. Secadores solares

Os secadores solares, que podem ser incluídos no grupo dos secadores de lote, fazem uso de um recurso energético que é abundante, pelo menos ao nível do Mediterrâneo – o Sol.

Esta tecnologia pode ser dividida em três categorias: secadores solares diretos, indiretos e híbridos. A Figura 2.9 representa esta divisão de secadores solares.

Os primeiros fazem incidir a radiação solar diretamente sobre o grão, enquanto os indiretos absorvem a radiação do sol num sistema secundário que, por sua vez, transporta esse calor para o grão. Os secadores híbridos são secadores que usam o sol como fonte de calor, mas têm também um

sistema secundário que utiliza combustíveis fósseis para produzir calor. O movimento do ar, no interior destes secadores, pode ocorrer por (i) convecção natural, em que, devido ao calor que se gera no seu interior, se criam gradientes térmicos que permitem a entrada e saída do ar, ou por (ii) convecção forçada, onde uma ventoinha faz circular o ar no seu interior (Kumar, Sansaniwal, & Khatak, 2016).

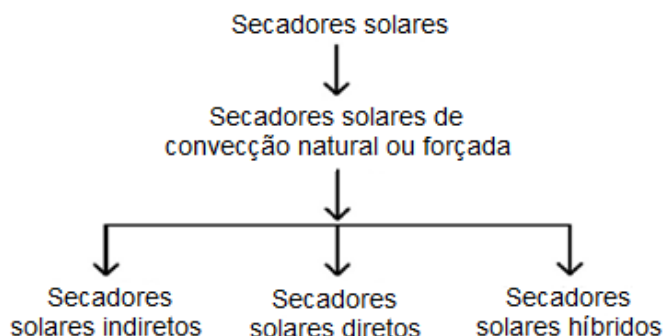


Figura 2.8 - Esquema das categorias dos secadores solares (Kumar *et al.*, 2016)

Os secadores solares diretos são assim designados porque o sol incide diretamente no grão. São constituídos por uma câmara com um vidro na parte superior, ou um material transparente, que permita a passagem da radiação solar, sendo o objetivo criar um efeito de estufa no seu interior para secar o grão. Esta câmara possui ainda aberturas que, devido à movimentação natural do ar no seu interior, permite a entrada e a saída do ar, arrastando assim a humidade que se evapora do grão (Sharma, Chen, & Lan, 2009).

A radiação solar incide no vidro do secador e uma parte é refletida de novo para a atmosfera, enquanto a restante é transmitida para o interior da câmara. Já no interior, parte da radiação que incide no grão é de novo refletida, e a restante é absorvida pelo grão, fazendo assim aumentar a sua temperatura. Com este aumento de temperatura o grão liberta a humidade do seu interior por evaporação, que por sua vez é arrastada com o ar que circula pelo secador. Esta passagem do ar pode ocorrer naturalmente (Figura 2.10), ou forçando a circulação com uma ventoinha. Estes secadores apresentam uma construção simples que protege o grão das poeiras, durante a secagem, porém,

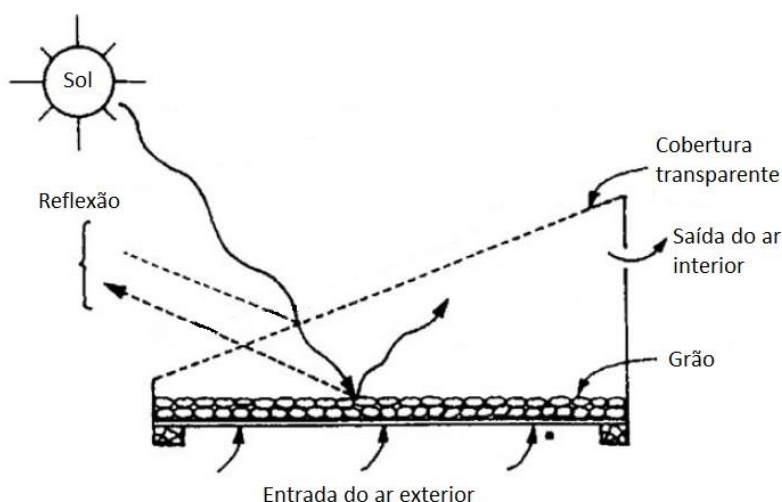


Figura 2.9 - Princípio de funcionamento de um secador solar direto (adaptado de Sharma, Chen, & Lan, 2009)

apresentam algumas limitações, como por exemplo, o sobreaquecimento do grão, que pode comprometer a qualidade do mesmo, e ainda a sua reduzida capacidade por cada lote de grão a ser seco (Sharma et al., 2009).

No caso dos secadores solares indiretos, o calor é transportado até ao grão, ao invés de expô-lo à radiação solar direta. Como, de alguma forma, o calor é conduzido para o grão, existem diversas formas de o fazer; a Figura 2.11 é uma dessas formas.

A Figura 2.11 representa um tipo de secador solar, incluído na categoria dos secadores de lote, que se caracteriza por receber a radiação solar numa placa externa à câmara, sendo esta placa constituída por materiais transparentes, semelhantes aos que são utilizados nos secadores solares diretos. Ao aquecer, o ar no interior desta placa desloca-se, por convecção, no sentido ascendente, ecoando para o interior da câmara de secagem. Por sua vez, a câmara possui orifícios por onde se escoo o ar quente; depois de passar pelo grão, o ar transporta consigo a humidade que se evaporou (Sharma et al., 2009). Isto permite minimizar o aparecimento de fendas na superfície do grão, devido ao sobreaquecimento, que levam a uma menor qualidade do grão armazenado.

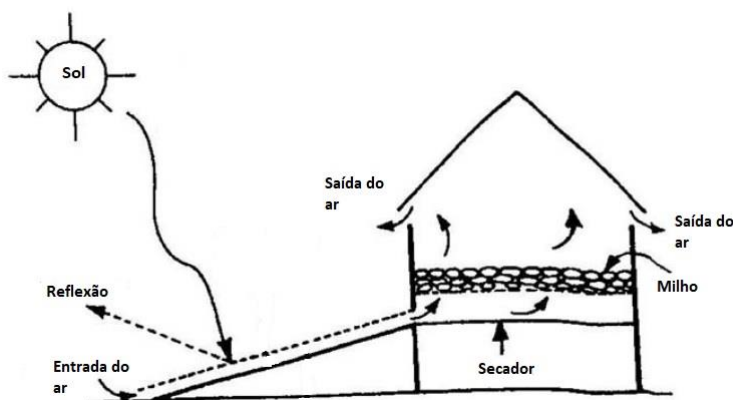


Figura 2.10- Princípio de funcionamento de um secador solar indireto (Sharma, Chen, & Lan, 2009)

2.3.2.4. Secadores a biomassa

Os secadores que fazem uso de biomassa, como fonte de calor, caracterizam-se pela necessidade de colocar um permutador de calor entre a fonte de calor e o grão de milho (de forma a que os produtos da combustão da biomassa não entrem em contacto com o grão), ao contrário do que foi exemplificado para, por exemplo, os secadores *Fratelli Pedrotti*, em que os produtos da combustão incidem diretamente no grão. Como já foi referido, este fabricante disponibiliza a opção de se utilizar um permutador de calor nos seus secadores, garantindo os mesmos resultados na qualidade do grão; porém, o tempo de secagem é superior, uma vez que as temperaturas máximas que se podem atingir são na ordem dos 110°C, sendo inferiores aos 130°C atingidos com a incidência direta do ar de combustão sobre o grão (Fratelli Pedrotti, 2018).

Nos secadores a biomassa (Figura 2.12), o combustível (biomassa) é queimado numa câmara de combustão separada do secador e, ao libertar calor durante este processo, fá-lo em direção a um permutador de calor. A troca de calor dá-se na mesma lógica dos secadores a diesel, mas, ao invés dos produtos da combustão serem direcionados para o grão, estes entram no permutador de calor e

trocam calor com o fluido que atravessa um circuito secundário no seu interior. Neste circuito secundário, por sua vez, ocorre a transferência de calor do fluido para o ar que vem do exterior, forçado através de uma ventoinha; este ar, após ser aquecido, é direcionado para o interior do secador para desumidificar o grão (Aziz, 2016).

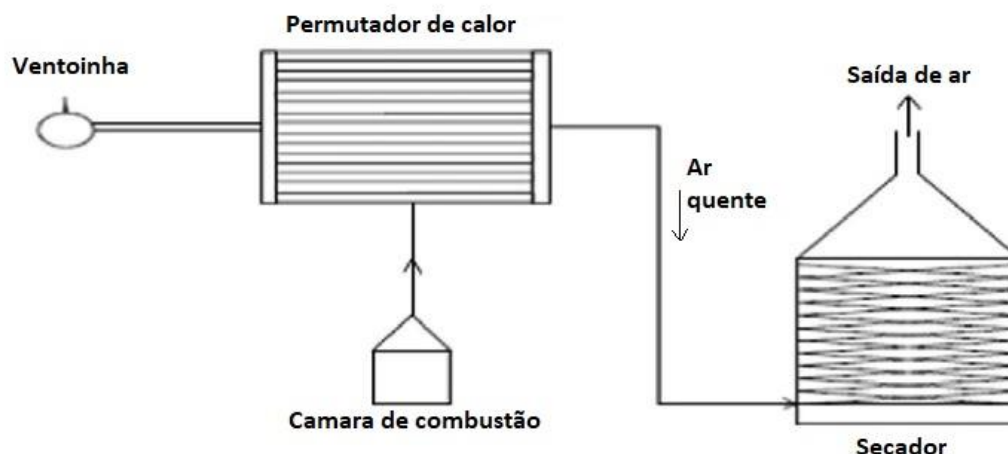


Figura 2.11 - Princípio de funcionamento de uma caldeira a biomassa (adaptado de Kumar *et al.*, 2016)

Contudo, a existência de permutadores de calor no processo implica uma diminuição da eficiência do aproveitamento de calor da combustão da biomassa. Este rendimento é bastante variável, consoante o tipo de biomassa utilizado (troncos de madeira ou péletes), o tipo de caldeira e o tipo de permutadores. Na Tabela 2.3 são apresentadas algumas caldeiras, de vários fabricantes, onde se podem ver várias gamas de potência, variando também a eficiência interna que cada uma apresenta.

Tabela 2.3 – Potências nominais e eficiências internas indicadas por alguns fabricantes de caldeiras de biomassa

Modelo	Potência nominal (kW)	Eficiência (%)	Fabricante
Moderator 240 SILO 4M3	240	84	Moderator (Moderator, 2018)
Agromax 500 kW	500	80	Moderator (Moderator, 2018)
Gilles HPKI-R 1400	1400	90	Gilles (Gilles, 2018)
Pereko KSR pro 150	172	85	Pereko (Pereki, 2018)
Termo-Tech OP 70	70	90	Kotly (Kotly, 2018)

Todos estes modelos fazem uso de um circuito de água para o armazenamento do calor, à exceção da Gilles HPKI-R 1400 e da Termo-Tech OP 70, que convertem o calor diretamente para o ar, não necessitando, por isso, de um segundo permutador de calor para realizarem a transferência de calor para o ar. Esta necessidade de acrescentar um segundo permutador de calor às caldeiras que aquecem um circuito de água, faz com que a potência que se consegue extrair seja inferior, devido às perdas associadas neste equipamento. As eficiências apresentadas na Tabela 2.3 dizem respeito à conversão do calor para o fluido de trabalho interno de cada uma delas (ar para a Termo-Tech OP 70 e Gilles HPKI-R 1400, e água para as restantes)

3. Caracterização do caso de estudo da Quinta da Cholda (Golegã, Santarém)

3.1. Descrição da Quinta, métodos de gestão e impactes no ambiente

A Quinta da Cholda (Golegã, Santarém) constitui uma empresa agrícola familiar que se dedica à cultura do milho. Situa-se na região da Azinhaga, distrito de Santarém (Figura 3.1), sendo, atualmente, um dos maiores produtores nacionais de milho. A Quinta tem crescido ao longo dos anos, quer em termos de produção, quer de produtividade, através da implementação de tecnologias inovadoras na agricultura, denominadas por “agricultura de precisão”. Simultaneamente, esta empresa agrícola tem desenvolvido inúmeras ações de proteção dos recursos naturais diretamente associados às atividades agrícolas e adjacentes, nomeadamente no que diz respeito à proteção do solo agrícola, promoção dos recursos florísticos e faunísticos adjacentes às zonas de cultivo, entre outras práticas.



Figura 3.1 - Localização da Quinta da Cholda (Google Maps, 2018)

Com um registo da área de cultivo, em 2017, de cerca de 430 hectares, foram produzidas cerca de 7700 toneladas de milho. Isto representa aproximadamente 1% da produção total de milho em Portugal (INE, 2018). A Figura 3.2 mostra a evolução da área de cultivo na Quinta da Cholda, nos últimos 5 anos.

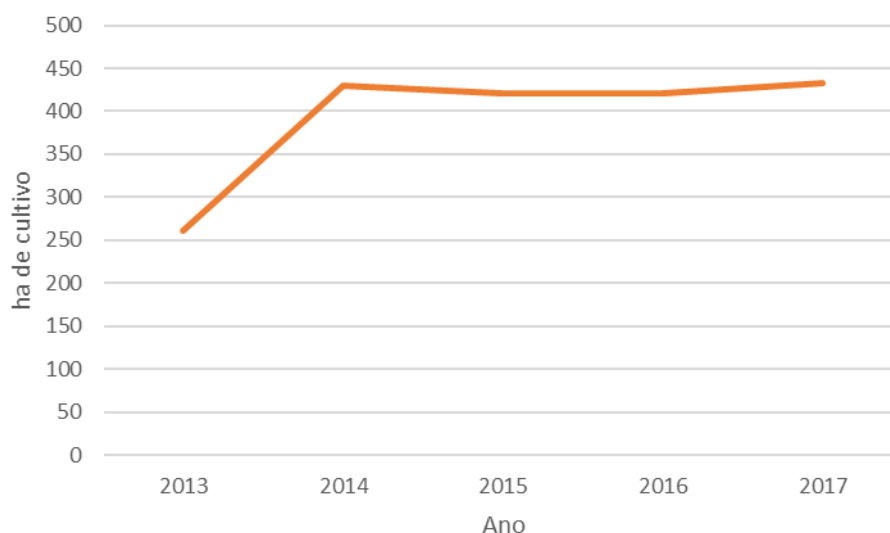


Figura 3.2 - Evolução da área de cultivo na Quinta da Cholda, nos últimos 5 anos (Coimbra, 2018)

Na sequência da consciência ambiental por parte dos seus proprietários, foi introduzido, em 2014, o conceito da agricultura de precisão nas práticas agrícolas da Quinta. Este conceito pode ser definido como uma forma de aumentar o número de decisões corretas, relativamente à gestão da cultura, por unidade de área e por unidade de tempo; pretende-se que esta gestão traga grandes benefícios, como por exemplo, redução da aplicação de adubos, melhor gestão na utilização de água de rega, redução de produtos fitofarmacêuticos aplicados, entre outros (McBratney, Whelan, Ancev, & Bouma, 2005).

Este método de exploração consiste em diferenciar as várias parcelas do terreno agrícola em pequenas secções e adequar a rega, a adubação e os restantes tratamentos agrícolas às necessidades de cada parcela do terreno. Desta forma, consegue-se reduzir os recursos utilizados, diminuindo também o impacte ambiental que os produtos químicos (fertilizantes e produtos fitofarmacêuticos) têm no solo e nas águas subterrâneas e superficiais, uma vez que estes são utilizados onde realmente são necessários, ao invés de se cobrir todo o terreno com decisões de gestão únicas.

A agricultura de precisão é também caracterizada pela introdução de novas tecnologias de apoio à exploração. Na Quinta da Cholda utilizam-se mapas de produtividade, por forma a conhecer-se a rentabilidade e as necessidades de cada parcela do terreno, o que, aliado a um sistema de direcionamento das máquinas agrícolas por GPS, permite o cruzamento de dados para uma maior eficácia e homogeneidade na mobilização.

Outra tecnologia implementada na Quinta e com impacte muito positivo é o uso de drones. Com estes equipamentos, para além da observação direta da exploração, consegue-se identificar as zonas onde é necessário aplicar herbicidas, reduzindo-se assim o uso destes químicos, uma vez que só serão utilizados onde realmente são necessários.

No que diz respeito ao sistema de rega, os resultados alcançados com a implementação da agricultura de precisão são notáveis. Através de um sistema de satélites que permite medir diariamente a evapotranspiração dos terrenos, consegue-se adequar a rega de acordo com as necessidades diárias. Assim, partindo de um volume de rega de 10000 m³/ha, em 1988, e uma produtividade de milho

de 7800 kg_{milho}/ha (rendimento de 0,78 kg_{milho}/m³_{água}), os responsáveis conseguiram uma gestão mais eficiente da água de rega que se traduziu, em 2016, na utilização de 6500 m³/ha de água consumida para uma produção de milho de 17000 kg_{milho}/ha (rendimento de 2,61 kg_{milho}/m³_{água}) (Coimbra, 2018).

O caso da Quinta da Cholda é um exemplo de como a agricultura de precisão pode trazer benefícios na produção agrícola, ao mesmo tempo que otimiza a utilização de recursos, com a consequente diminuição dos impactes ambientais. A Figura 3.3 demonstra a evolução do aumento de produtividade de milho nos últimos 5 anos.

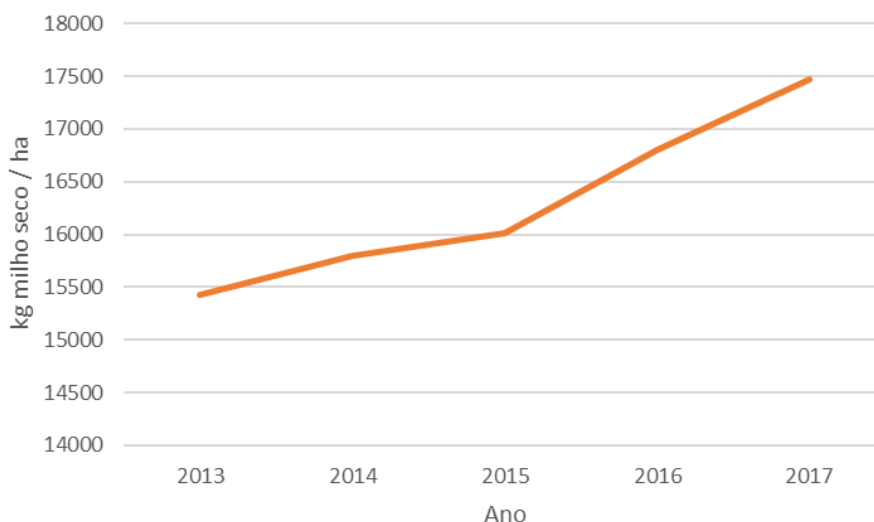


Figura 3.3 - Evolução da produtividade de milho (kg/ha) na Quinta da Cholda (Coimbra, 2018)

Pela análise à Figura 3.3 percebe-se o impacto que as metodologias da agricultura de precisão tiveram nos últimos cinco anos, passando de uma produtividade de milho de 15 400 kg_{milho}/ha, para cerca de 17 500 kg_{milho}/ha.

3.2. Produção de energia fotovoltaica na Quinta da Cholda

Em 2009 começaram a ser instaladas, na Quinta da Cholda, diversas unidades de produção de energia fotovoltaica. A quinta passou a produzir, internamente, toda a energia gasta nos *pivots* da rega. Este passo na gestão de energia resultou na redução de 43,5 kg de CO₂ equivalente emitido, por cada tonelada de milho produzida, o que se traduziu numa poupança, no ano de 2014, de cerca de 335 toneladas de CO₂ equivalente (Coimbra, 2018). A Figura 3.4 demonstra este impacte positivo da utilização da energia elétrica fotovoltaica no sistema de rega, em comparação com as restantes atividades na quinta que produzem emissões de CO₂, onde se registou uma redução de 42% destas emissões entre 2014 e 2017 (Coimbra, 2018). Esta redução é relativa ao total de emissões de CO₂ que se registavam na Quinta da Cholda, antes da implementação dos parques solares fotovoltaicos.

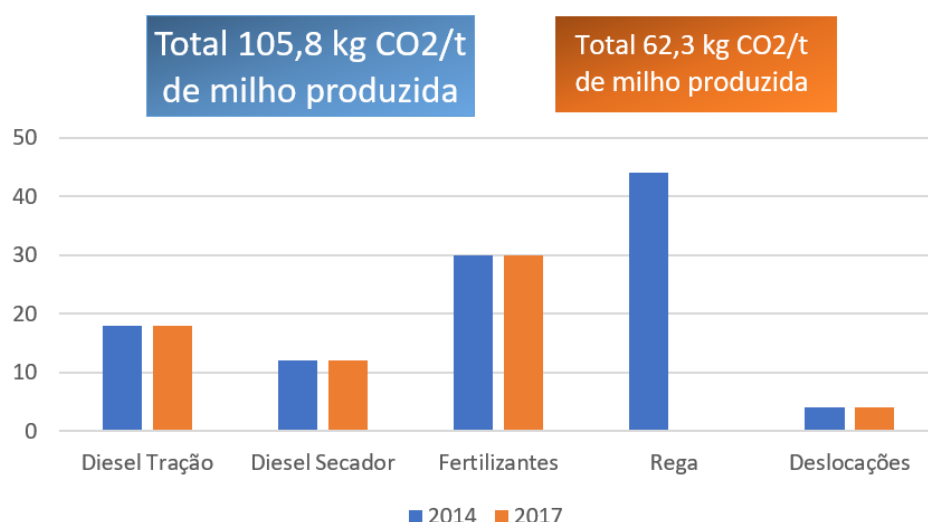


Figura 3.4 - Impacte da energia elétrica fotovoltaica na redução de emissões de CO₂ equivalente na Quinta da Cholda (Coimbra, 2018)

Na sequência do caminho da redução das emissões de gases com efeito de estufa (GEE) e sendo a secagem do grão de milho, atualmente, a terceira atividade que mais contribui para a emissão de CO₂ equivalente, surgiu a hipótese de se estudar uma alternativa para a produção de calor necessário ao processo, que conduza também à redução das emissões de GEE. Desta forma, o desafio foi o de se estudar uma forma de reaproveitamento da biomassa agrícola excedentária, que fosse utilizada como fonte de calor, ou ainda, uma forma de aproveitamento da energia elétrica fotovoltaica excedentária existente na Quinta.

3.3. Necessidade de calor para a secagem de milho

A análise energética da situação atual da Quinta baseou-se nos dados fornecidos pelos seus proprietários, relativamente aos consumos anuais de combustível e aos custos do mesmo.

Numa primeira fase, converteu-se o volume de diesel (L), utilizado na secagem, em conteúdo de energia (MWh), por forma a determinar-se a quantidade de energia utilizada na secagem do milho. De seguida, através dos dados fornecidos pelo fabricante do secador de milho (da marca *Fratelli Pedrotti*), foi possível calcular-se a energia teórica (MWh) que o secador deverá gastar. Por fim, realizou-se uma análise comparativa dos consumos específicos de diesel e estabeleceram-se as equações que permitem estimar os consumos de energia em função do teor de humidade do grão colhido. Esta análise foi realizada com os dados relativos ao intervalo de anos de 2013 a 2017, inclusive.

3.3.1. Dados do secador utilizado na Quinta da Cholda

Na Tabela 3.1 apresentam-se os dados fornecidos pelo fabricante do secador agrícola *Fratelli Pedrotti*, que se encontra instalado na Quinta da Cholda (Fratelli Pedrotti, 2018). Cada linha de valores da Tabela 3.1 diz respeito à respetiva redução de humidade que se apresenta na primeira coluna: por

exemplo, para se reduzir a humidade do grão de 28% para 14% (m/m) são necessários 15 L de diesel por cada tonelada de grão húmido, evaporando-se 163 kg de água.

Tabela 3.1 - Dados do secador de grão de milho existente na Quinta da Cholda, da marca *Fratelli Pedrotti* (Fratelli Pedrotti, 2018).

Humidade (% m/m)	Massa de água evaporada (kg_{água}/t_{grão húmido})	Volume de diesel (L_{diesel}/t_{grão húmido})	Energia consumida (kcal/kg_{água} evaporada)
De 28 para 14	163	15	800
De 24 para 14	116	12	880
De 19 para 14	58	7	1050

Como o grão de milho pode ser colhido com teores de humidade intermédios aos que o fabricante disponibilizou (Tabela 3.1), foi necessário realizar-se uma interpolação matemática que permita estimar estes valores intermédios de consumo de diesel.

Considere-se o exemplo da Tabela 3.2, onde se apresentam os limites superiores da interpolação (X_1 e Y_1) e os limites inferiores (X_3 e Y_3). O que se pretende conhecer é o valor de Y_2 , correspondente a um teor de humidade de 27% (X_2).

Tabela 3.2 - Interpolação para o cálculo dos valores intermédios dos dados do secador

Humidade (% m/m)	Massa de água evaporada (kg_{água}/t_{grão húmido})
$X_1 = 28$	$Y_1 = 163$
$X_2 = 27$	Y_2
$X_3 = 24$	$Y_3 = 116$

A Equação 3.1, resolvida em ordem a Y_2 (Equação 3.2), demonstra como se efetua o cálculo desta interpolação e, aplicando esta equação a todos os valores intermédios entre 19% e 28%, é possível estimar-se as necessidades energéticas neste intervalo de humidades.

$$\frac{x_1 - x_3}{x_2 - x_3} = \frac{y_1 - y_3}{y_2 - y_3} \quad (3.1)$$

$$y_2 = \frac{y_1 - y_3}{\frac{x_1 - x_3}{x_2 - x_3}} + y_3 \quad (3.2)$$

Como o milho também pode ser colhido com valores de humidade inferiores a 19% (até aos 14% pretendidos no produto final), é necessário quantificar-se também estes valores. Esta quantificação será explicada na secção relativa aos consumos específicos.

3.3.2. Conversão do volume de diesel em quantidade de energia

A energia tem diversas formas de ser representada, isto é, várias unidades de medida, e devido a este facto adotou-se internacionalmente uma forma de converter todas as fontes de energia numa unidade comum, a *tep* (tonelada equivalente de petróleo). Esta unidade corresponde à energia libertada durante a combustão de uma tonelada de petróleo. A Agência Internacional de Energia tabelou o valor energético do *tep* em Joules, indicando que cada unidade de *tep* é equivalente a 41,86 GJ (IEA, 2018), e desta forma é possível determinar que 1 *tep* corresponde a 11,63 MWh. Neste capítulo é demonstrada a conversão da quantidade de diesel utilizado na quinta (expressa em L), numa unidade energética mais comum, e que é a de referência neste trabalho (MWh).

A massa volúmica é também um fator importante para a quantificação energética do diesel e pode variar consoante o fabricante. Desta forma, foram registadas as densidades das principais marcas de diesel representadas em Portugal (Tabela 3.3).

Tabela 3.3. – Massa volúmica do diesel de vários fornecedores

Fabricante	Massa volúmica a 15 °C (kg/dm ³)
Repsol (Repsol, 2018)	0,820 – 0,845
BP (BP, 2018)	0,820 – 0,845
Galp (Galp, 2018)	0,720 – 0,775
Cepsa (Cepsa, 2018)	0,820 – 0,845

Como os dados fornecidos pelos gestores da Quinta quantificam o diesel gasto, em cada ano, em litros e como a dimensão utilizada para a conversão na Equação 3.3 é a massa (expressa em tonelada), é necessário calcular-se a massa equivalente de cada dm³ de diesel. Com a Equação 3.3 resolvida em ordem a m_{Diesel} , obtêm-se a massa equivalente do diesel consumido.

$$m_{Diesel} = (\rho_{diesel} \times V_{diesel}) \times 10^{-3} \quad (3.3)$$

Onde,

m_{Diesel} , corresponde à massa equivalente de diesel consumido (t);

ρ_{diesel} , corresponde à massa volúmica do diesel (kg/dm³);

V_{diesel} , é o volume de diesel consumido (dm³).

A Equação 3.6 exprime o método de cálculo apresentado no Glossário de Estatísticas e Transportes (EUROSTAT, 2018), onde podemos constatar que cada tonelada de diesel, corresponde a 1,035 *tep*. Resolvendo a Equação 3.4 em ordem a tep_{quinta} , obtêm-se o consumo de *tep* correspondente à totalidade do diesel consumido na Quinta.

$$tep_{quinta} = m_{Diesel} \times E_{tep} \quad (3.4)$$

Onde,

tep_{quinta} corresponde às unidades de tep consumidas na Quinta;

E_{tep} corresponde ao equivalente em tep, de cada tonelada de diesel (1,035).

Por fim, na Equação 3.5 calcula-se a energia total, em MWh contida em todo o diesel consumido na quinta, utilizando os valores obtidos nas Equações 3.2 e 3.4.

$$E_{MWh} = tep_{quinta} \times U_{tep} \quad (3.5)$$

Onde,

E_{MWh} corresponde à energia total consumida (MWh)

U_{tep} corresponde à energia (em MWh) contida numa unidade de tep (11,63 MWh)

Aplicando estas equações aos consumos anuais da quinta, é possível obter-se o seu equivalente energético, em MWh, para cada ano. A Tabela 3.4 resume os valores da quantidade de diesel consumido na Quinta da Cholda, para os anos de 2013 a 2017.

Tabela 3.4 - Quantidade de diesel consumido na Quinta da Cholda

Ano	Diesel (L)	Energia (MWh)
2013	38 473	395
2014	55 502	570
2015	55 638	571
2016	67 977	698
2017	29 800	306

Uma breve análise à Tabela 3.4 permite observar que o consumo de diesel varia bastante ao longo dos anos, sobretudo devido ao facto o teor de humidade na colheita do grão também variar bastante. Como exemplo, o ano de 2016 e 2017 tiveram uma produção de milho bastante semelhante (8087 toneladas em 2016, e 8082 toneladas em 2017, de milho húmido) (Coimbra, 2018), contudo, em 2017 registaram-se teores de humidade na colheita bastante elevados, ao contrário de em 2017, onde o milho foi colhido bastante seco e não necessitou de tanta energia para a secagem até aos 14% de humidade.

3.3.3. Consumos, custos e emissões específicos

Devido à necessidade de se produzir calor para o processo de secagem dos grãos de milho e sendo o âmbito deste trabalho o estudo de um sistema de produção de calor sustentável, o cálculo dos consumos específicos permite avaliar, posteriormente, se o sistema estudado tem influência na redução de emissões de GEE. Esta análise permite comparar de que forma as variáveis relacionadas

com a secagem do grão, como a energia de vaporização da água contida no interior do grão, o diesel consumido e as emissões de GEE, se comportam em função da redução de humidade do grão.

De acordo com vários estudos, o melhor teor de humidade para se realizar o armazenamento do grão situa-se em torno de 13% (m/m) (Mazzuco et al., 2002); (Corrêa, Machado, & Andrade, 2001). O valor que se pretende atingir na Quinta da Cholda (14% m/m) (Coimbra, 2018) está em linha com este valor da bibliografia. Assim, ao se estudar o comportamento das variáveis acima descritas, avaliar-se-á a sua variação em função da diminuição do teor de humidade do grão, desde o teor na colheita até atingir 14% (m/m).

Como os dados fornecidos pelo fabricante do secador utilizado na Quinta indicam apenas três possíveis teores de humidade na colheita (Tabela 3.1), o gasto energético associado para se reduzir a humidade desde outros valores de humidade até 14% (m/m) foi realizada por extrapolação matemática (ver secção 3.2.1). A Tabela 3.5 apresenta o resumo dos valores obtidos nestas interpolações.

A coluna da energia consumida, expressa em kWh/kg_{água evaporada}, foi calculada considerando-se que cada kcal equivale a 4,184 kJ (IEA, 2018).

Tabela 3.5 – Interpolação matemática realizada com os dados fornecidos pelo fabricante do secador existente na Quinta da Cholda

Humidade (% m/m)	Massa de água evaporada (kg_{água}/t_{grão húmido})	Volume de diesel (L_{diesel}/t_{grão húmido})	Energia consumida (kcal/kg_{água} evaporada)	Energia consumida (kWh/kg_{água} evaporada)
De 28 para 14	163	15,0	800	0,93
De 27 para 14	151	14,3	820	0,95
...
De 24 para 14	116	12,0	880	1,02
De 23 para 14	104	11,0	914	1,06
...
De 19 para 14	58	7,0	1050	1,22

As reduções de humidade, para teores de colheita entre os 19% e os 15%, foram calculadas através da projecção da curva obtida para os valores entre 19% e 28%, apresentados na Tabela 3.5. A Equação 3.6 representa uma destas curvas, e diz respeito especificamente à energia necessária para fazer evaporar 1 kg de água contida no grão:

$$y_1 = 0,015 \times \beta^2 - 0,0619 \times \beta + 1,495 \quad (3.6)$$

Onde,

y_1 é a energia de vaporização da água contida no grão (kWh/kg_{água});

β representa a redução de humidade, em percentagem.

O significado da variável β é que, por exemplo, ao se submeter a secagem um lote de milho desde 20% (m/m) de humidade inicial até aos 14% (m/m) de humidade final, a variável β adquire o valor de 6%.

A Equação 3.7 representa a massa de água evaporada, por cada tonelada de grão húmido que foi submetido ao processo de secagem:

$$y_2 = 11,664 \times \beta + 0,4545 \quad (3.7)$$

Onde,

y_2 representa a massa de água evaporada por tonelada de grão ($\text{kg}_{\text{água}}/\text{t}_{\text{grão}}$);

β representa a redução de humidade, em percentagem.

Por fim, a Equação 3.8 representa o consumo de diesel por cada tonelada de milho húmido:

$$y_3 = -0,0237 \times \beta^2 + 1,3438 \times \beta + 0,8163 \quad (3.8)$$

Onde,

y_3 representa o consumo de diesel ($\text{L}/\text{t}_{\text{grão}}$)

β representa a redução de humidade, em percentagem.

Os gráficos correspondentes a estas equações são apresentados seguidamente, na descrição dos consumos, custos e emissões específicos.

Estas equações representam as previsões energéticas que o fabricante de secadores agrícolas *Fratelli Pedrotti* indica, em função da humidade inicial do grão.

3.3.3.1 Consumo específico de energia

A Figura 3.5, contruída com base na Equação 3.6, representa a variação da energia necessária para fazer evaporar 1 kg de água, em função da redução de humidade no grão (%). Isto significa que, por exemplo, ao reduzir-se 1% (m/m) de humidade no grão, está-se a considerar uma redução de 15% (m/m) para 14% (m/m); quando se reduz a humidade em 14% (m/m), isto representa uma redução do teor de humidade de 28% (m/m) para os 14% (m/m).

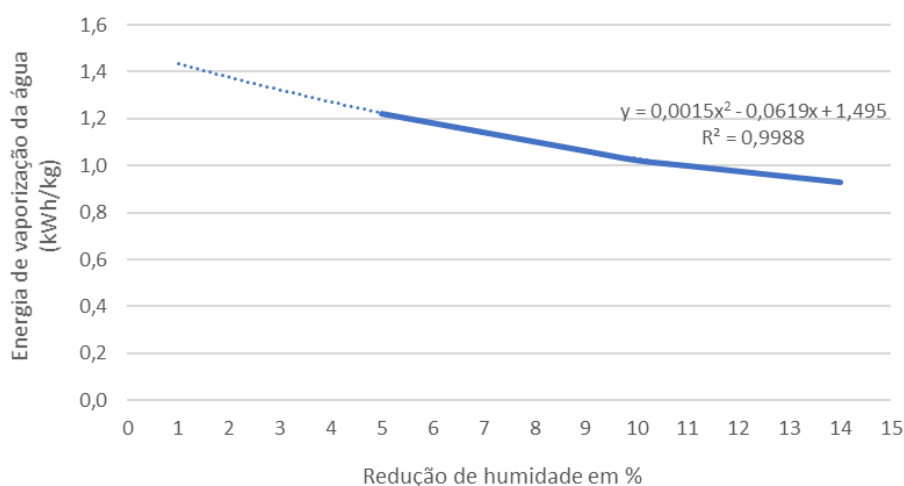


Figura 3.5 - Consumo específico de energia em função da percentagem de redução de humidade no grão

Observa-se que a tendência de gasto de energia, por kg de água evaporada, decresce à medida que o teor de humidade no grão é mais elevado. Isto deve-se ao facto de que, quanto menor for o teor de humidade no grão, maior é a resistência deste para libertar a humidade interna. Desta forma, percebe-se que a energia necessária para se fazer evaporar 1 kg de água, numa amostra de milho com 28% (m/m) de humidade, é inferior à energia necessária para fazer evaporar 1 kg de água de uma amostra com 15% (m/m) de humidade.

Como a Equação 3.6 traduz a quantidade de energia gasta por cada kg de água evaporada, para se quantificar a energia total gasta é necessário conhecer-se a quantidade de água evaporada a partir do grão. Para isso, o fabricante do secador *Fratelli Pedrotti* fornece dados de quantidade de água evaporada por tonelada de grão húmido (Tabela 3.1), tendo em conta os diferentes teores de humidade possíveis.

A Figura 3.6, construída com base na Equação 3.7, mostra a relação entre a massa de água evaporada por cada tonelada de grão húmido, em função das várias reduções de humidade possíveis.

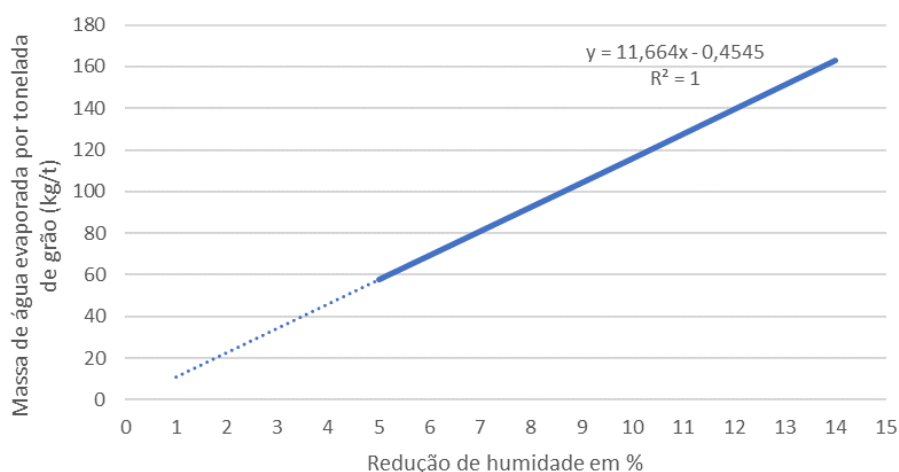


Figura 3.6 – Massa específica de água evaporada em função da percentagem de redução de umidade no grão

Conhecendo a energia gasta por cada quilograma de água evaporada (kWh/kg_{água}), a quantidade de água evaporada por cada tonelada de grão húmido (kg_{água}/t), a quantidade de grão húmido colhido (t na base húmida) e a respetiva humidade, é possível quantificar-se a energia gasta, em cada ano, na secagem do milho. A Equação 3.9, que representa o produto das Equações 3.6 e 3.7, permite calcular a totalidade de energia necessária à secagem de cada lote de milho.

$$\Phi_1 = (0,0015 \times \beta^2 - 0,00619 \times \beta + 1,495) \times (11,664 \times \beta - 0,4545) \times m_{m.h.} \quad (3.9)$$

Onde,

Φ_1 , representa a energia para secar um lote de milho, com uma determinada massa e humidade (kWh);
 β , representa a redução de humidade, desde a humidade após a colheita até ao valor de 14% (m/m) (%);

$m_{m.h.}$, representa a massa de milho húmido associada ao lote (t).

Esta equação foi aplicada a todos os terrenos da Quinta, cada um com o seu teor de humidade na colheita, e os resultados são apresentados na Tabela 3.6. Os valores apresentados na Tabela 3.6 permitem comparar a energia que o fabricante prevê que se gaste, em função do teor de humidade do grão e da massa de grão húmido, e a energia que foi efetivamente gasta nas condições da Quinta da Cholda, que foi apresentada na Tabela 3.4.

Tabela 3.6 - Energia total prevista ser consumida, pelo fabricante, no secador da Quinta da Cholda

Parâmetro	Anos				
	2013	2014	2015	2016	2017
Energia prevista pelo fabricante (MWh)	505	821	736	893	396

Consumo específico de diesel

A Figura 3.7 mostra a evolução da quantidade, em litros, de diesel consumido para secar cada tonelada de grão húmido, em função da percentagem de redução de humidade. Tal como foi descrito para o consumo específico de energia, esta variação de diesel é função da percentagem de humidade que se pretende reduzir, desde a percentagem de humidade registada após a colheita até ao valor de 14% (m/m).

Tendo em conta a análise feita para o consumo específico de energia, onde se concluiu que a energia necessária para evaporar 1 kg de água é superior quando se tem um baixo teor de humidade no grão, na Figura 3.7 constata-se mais uma vez este facto. Apesar de, pelo gráfico, a quantidade de diesel gasto ser crescente à medida que aumenta a percentagem de redução de humidade no grão, este aumento não é proporcional ao aumento de diesel consumido devido ao facto de, para teores de humidade mais elevados, não ser necessário tanta energia por cada kg de água evaporada (como é demonstrado na Figura 3.5).

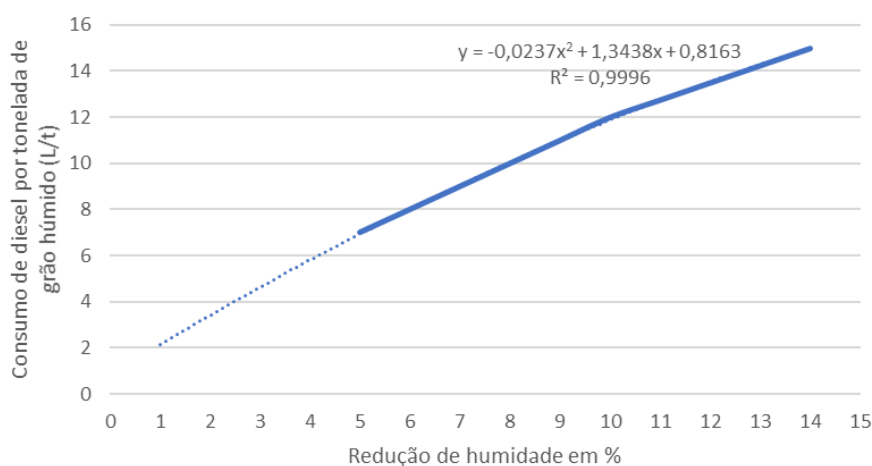


Figura 3.7 - Consumo específico de diesel em função da percentagem de redução da humidade no grão

É normal que a quantidade de diesel gasto aumente (em percentagem), em função do aumento da percentagem de redução de humidade, uma vez que existe mais água para evaporar numa tonelada de milho com 28% (m/m) de humidade, do que numa com 15% (m/m). É de salientar que esse aumento não é proporcional à redução de humidade, confirmando assim a análise feita para o consumo específico de energia. Para se reduzir a humidade de uma tonelada de grão, colhida com 15% (m/m) de humidade, segundo o fabricante, são necessários 2,14 litros de diesel. Se o aumento do teor da humidade do grão, na colheita, fosse proporcional à quantidade de diesel gasta, para se realizar uma redução da humidade em 14% (m/m) de uma amostra colhida com uma humidade inicial de 28% (m/m), seriam necessários 29,96 litros, mas, na realidade, o fabricante prevê que se gastem apenas 15 litros de diesel.

Esta diferença deve-se ao facto de, como foi evidenciado na Figura 3.5, quanto maior o teor de humidade do grão, menor será a energia necessária para retirar 1 kg de água do seu interior. Com isto, apesar de ser necessário um maior consumo de diesel para teores de humidade mais elevados, este aumento não é proporcional, pois o grão liberta com maior facilidade a água do seu interior.

Custo específico do consumo de diesel

Tendo em conta a diminuição do preço do diesel agrícola utilizado na Quinta, desde 2013, cujos valores de compra, fornecidos pela Quinta, são apresentados na Tabela 3.7, é de esperar que os custos associados ao consumo de diesel tenham vindo a diminuir de ano para ano. A evolução destas linhas de tendência segue a mesma orientação da Figura 3.7, sendo o declive da curva influenciado pelo preço de compra do diesel em cada ano.

Tabela 3.7 - Preço médio de compra de diesel pela quinta entre 2013 e 2017

	Anos				
	2013	2014	2015	2016	2017
Preço médio €/L	0,818	0,751	0,579	0,564	0,570

Por forma a analisar-se, mais à frente no presente trabalho, a viabilidade económica do projeto, torna-se essencial conhecer o custo energético da secagem de cada tonelada de grão húmido. Assim, a Figura 3.8 representa esses custos através da quantidade de diesel consumido, em função dos diferentes preços de compra de diesel, entre os anos de 2013 a 2017.

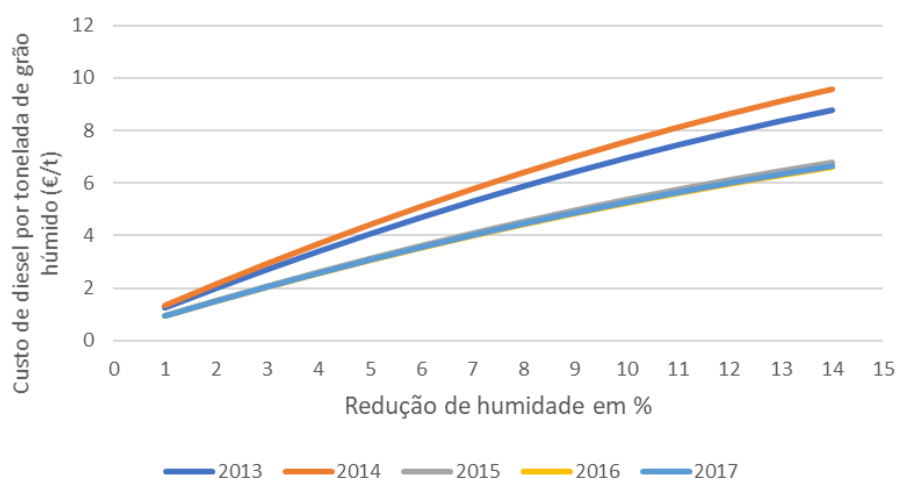
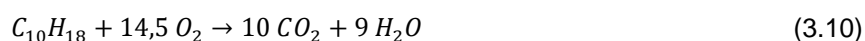


Figura 3.8 - Custo específico da secagem do grão de milho em função da percentagem de redução da humidade no grão

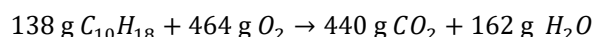
Emissões de CO₂

Sendo o âmbito deste trabalho o estudo de uma alternativa energética ao diesel, que permita reduzir as emissões de CO₂, é essencial quantificar-se estas emissões, por unidade de diesel consumido. Deste modo, calculou-se a quantidade (kg) de CO₂ libertado durante a combustão, por cada litro de diesel utilizado e considerando uma combustão completa, ou seja, considerou-se que toda a reação do diesel com o oxigénio tem como subprodutos apenas dióxido de carbono (CO₂) e vapor de água (H₂O).

A equação 3.10 representa a relação estequiométrica da combustão de diesel (considerando uma reação completa), sendo possível desta forma quantificar a massa de CO₂ libertada por cada quilograma de diesel utilizado. A fórmula molecular do diesel pode ser representada por C_nH_{1,8n} (Faria, Vasconcelos, & Farias, 2008). Estes autores consideram um n=10, obtendo-se então a fórmula molecular C₁₀H₁₈. A equação 3.10 representa a equação química da oxidação completa do diesel:



Utilizando-se as massas atómicas relativas de cada elemento (C = 12; O = 16; H = 1), pode-se converter a Equação 3.10 numa equação de massas equivalentes (Equação XX):



A estequiometria desta reação indica que por cada 138 g de diesel utilizados libertam-se 440 g de CO₂. Deste modo, por cada quilograma de diesel libertam-se 3,19 kg CO₂. Considerando a média dos valores da Tabela 3.3, relativos à massa volúmica do diesel (0,81 kg/L), a emissão de CO₂ por unidade de volume de diesel é de 2,58 kg CO₂/L_{diesel}.

Com base neste valor relativo de emissão de CO₂ e utilizando-se a equação 3.8 que permite calcular a quantidade de diesel gasto em função da redução do teor de humidade no grão de milho, construiu-se o gráfico da evolução das emissões de CO₂ por tonelada de milho seco (Figura 3.9).

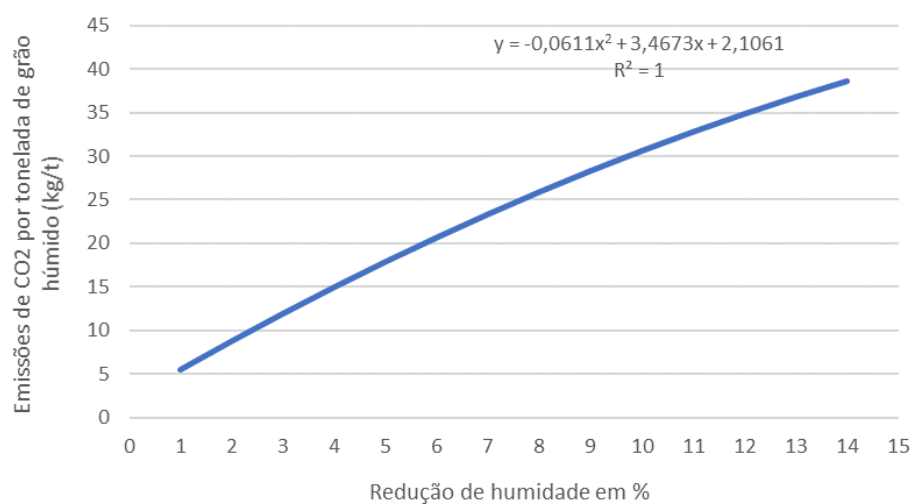


Figura 3.9 - Emissões de CO₂ por tonelada de grão húmido em função da percentagem de redução da humidade no grão

Com base nestes dados, as emissões totais anuais devidas à secagem do grão de milho, bem como as emissões por cada tonelada de milho húmido colhido (Tabela 3.8)

Tabela 3.8 - Emissões de CO₂ totais e por tonelada de milho húmido colhido, entre 2013 e 2017

Parâmetro	Anos				
	2013	2014	2015	2016	2017
L_{diesel} (L)	38 473	55 502	55 638	67 977	29 800
t CO₂ (t)	99	143	144	175	77
kg CO₂/t_{milho húmido}	21	17	19	22	10

3.3.1. Resultados da análise

Utilizando a equação 3.9, pode-se calcular a energia total que o fabricante prevê que se gaste, em função da massa de milho húmido colhida e do teor de humidade inicial. Na Tabela 3.9 apresentam-se os resultados obtidos para a energia consumida em cada ano, entre 2013 e 2017, em função da quantidade de milho colhido e da sua humidade. Foi também calculado, na secção 3.2.2., a energia que foi realmente gasta, convertendo-se a quantidade de diesel (L) consumido, em cada ano, em conteúdo energético (MWh), correspondendo à entrada da energia efetivamente consumida na Quinta, na Tabela 3.9.

Tabela 3.9 - Energia total prevista ser consumida no secador da Quinta da Cholda e energia efetivamente consumida

Parâmetro	Anos				
	2013	2014	2015	2016	2017
Energia prevista pelo fabricante (MWh)	505	821	736	893	396
Energia efetivamente consumida na Quinta (MWh)	395	570	571	698	306
Desvio entre os valores previsto e efetivo (%)	-21,8	-30,6	-22,4	-21,9	-22,9

Como os valores fornecidos pelo fabricante correspondem a estimativas que podem variar consoante as condições do local e a própria qualidade do grão (Fratelli Pedrotti, 2018), calculou-se o desvio entre os valores das previsões do fabricante e os que foram efetivamente consumidos na Quinta. Observa-se que existe um desvio de cerca de 22%, exceto em 2014, onde se registou um desvio de 30,6% (Tabela 3.9). Esta diferença é também justificada com o facto de se secar o milho até aos 16% (m/m) e a redução adicional de humidade de 16% (m/m) para 14% (m/m) ser efetuada naturalmente à medida que o milho vai arrefecendo, poupando assim o combustível que seria necessário para reduzir a humidade continuamente até aos 14% (m/m). Tal como já foi analisado na Figura 3.5, o consumo específico de energia é superior quando o grão apresenta teores de humidade mais perto dos 14%, o que torna este desvio ainda mais significativo uma vez que, na Quinta da Cholda, para valores de humidade inferiores a 16% (m/m) deixa de haver consumo de diesel para reduzir o teor de humidade até aos 14% (m/m).

Este desvio pode ser aplicado à equação que prevê o consumo energético do processo de secagem do milho (Equação 3.9), conseguindo-se assim obter uma equação que estima, para as condições da Quinta da Cholda, a energia necessária ao processo de secagem.

Procedeu-se à mesma comparação acima descrita, mas desta vez para o diesel consumido (Tabela 3.10). É de salientar a coerência dos resultados entre os cálculos para a energia consumida e o diesel consumido, tendo este último apresentado desvios de cerca de 23%, exceto no ano de 2014, onde se registou um desvio de 31,6%.

Tabela 3.10 - Volume total de diesel previsto ser consumido no secador da Quinta da Cholda e volume efetivamente consumido

Parâmetro	Anos				
	2013	2014	2015	2016	2017
Diesel gasto previsto pelo Fabricante (L)	50 153	81 166	72 722	88 741	40 278
Diesel efetivamente gasto na Quinta (L)	38 473	55 502	55 638	67 977	29 800
Desvio entre os valores previsto e efetivo (%)	-23,3	-31,6	-23,5	-23,4	-26,0

Tendo em conta estes resultados, considerou-se um desvio médio de -22% relativamente aos resultados dos dados de previsão do fabricante para os gastos energéticos.

As Figuras 3.10 e 3.11 apresentam, a cor de laranja, a equação que inclui este desvio, para o consumo específico de energia e de diesel, respetivamente. A linha azul, na Figura 3.10, corresponde à Equação 3.6, e à Equação 3.8, na Figura 3.11.

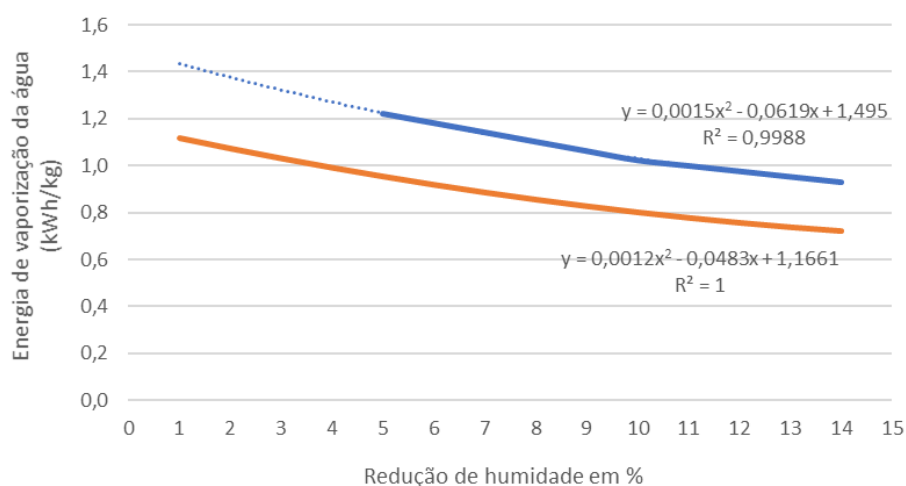


Figura 3.11 - Consumo específico de energia, incluindo o desvio de -22% relativamente aos dados do fabricante do secador de milho da Quinta da Cholda, em função da percentagem de redução da humidade no grão

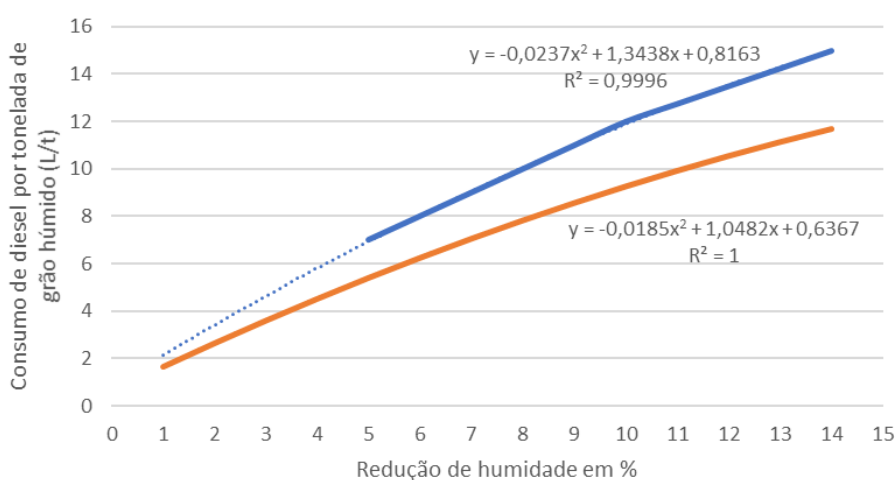


Figura 3.10 – Consumo específico de diesel, incluindo o desvio de -22% relativamente aos dados do fabricante do secador de milho da Quinta da Cholda, em função da percentagem de redução da humidade no grão

Aplicou-se o mesmo desvio aos valores obtidos para as emissões de CO₂ (Figura 3.12).

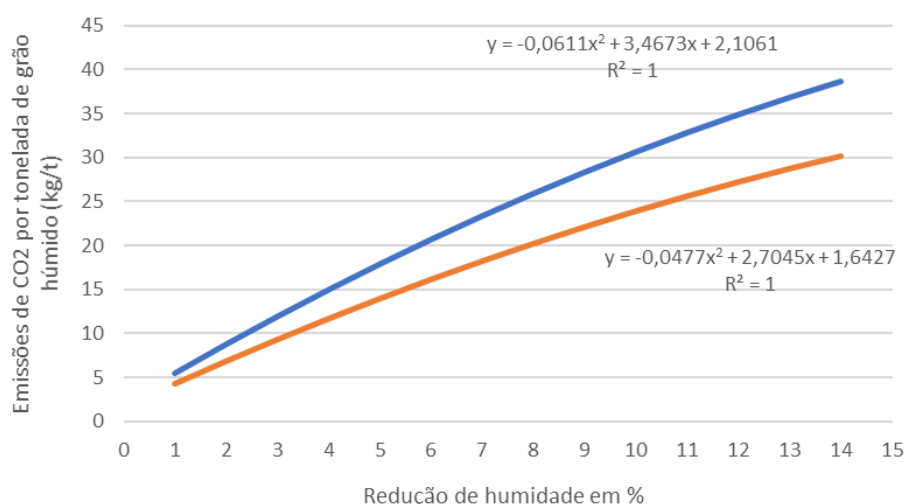


Figura 3.12 - Emissões de CO₂ por tonelada de grão úmido, incluindo o desvio de -22% relativamente aos dados do fabricante do secador de milho da Quinta da Cholda, em função da percentagem de redução da umidade no grão

A Tabela 3.11 apresenta os valores dos consumos totais de energia e os volumes de diesel consumidos, em função dos anos de colheita, considerando um desvio de -22% relativamente aos dados do fabricante do secador existente na Quinta da Cholda.

Tabela 3.11 - Consumos totais de energia e volumes de diesel, aplicando um desvio de -22% relativamente aos dados do fabricante do secador existente na Quinta da Cholda

Parâmetro	Anos				
	2013	2014	2015	2016	2017
Energia prevista pelo fabricante (MWh)	395	642	576	699	309
Energia efetiva gasta na Quinta (MWh)	395	570	571	698	306
Diesel gasto previsto pelo fabricante (L)	39 115	63 304	56 719	69 184	31 416
Diesel efetivo gasto na Quinta (L)	38 473	55 502	55 638	67 977	29 800

Esta análise permitiu obter a Equação 3.11 para que, nas condições da Quinta da Cholda, se consiga determinar a quantidade de energia gasta na secagem de cada lote de milho. A Equação 3.12 permite quantificar o consumo de diesel necessário para a secagem do milho.

$$\Phi_2 = (0,0012 \times \beta^2 - 0,0483 \times \beta + 1,1661) \times (11,664 \times \beta - 0,4545) \times m_{m.h.} \quad (3.11)$$

$$\Phi_3 = (-0,0185 \times \beta^2 - 1,0482 \times \beta + 0,6367) \times m_{m.h.} \quad (3.12)$$

Onde,

Φ_2 representa a energia necessária para a secagem de um lote de milho (kWh);

Φ_3 representa o consumo de diesel para a secagem de um lote de milho (kWh);

β representa o teor de humidade de colheita do lote de milho em estudo (%);

$m_{m.h.}$ representa a massa de milho húmido do lote de milho em estudo (kg).

É de salientar que, para o ano de 2017, onde se registaram teores de humidade na colheita bastante inferiores aos dos anos anteriores, a equação previu, com alguma precisão, a energia necessária para secar toda a produção de milho até aos 14% de humidade; o desvio obtido foi de 1,1%.

Na Tabela 3.12 comparam-se os consumos de energia calculados no processo de secagem do milho, com valores de bibliografia.

Tabela 3.12 - Comparação dos consumos energéticos em bibliografia e dos calculados

Tipo de secador	Valores de consumo de energia existentes na bibliografia (kWh/kg _{água})	Referências	Calculado para a Quinta da Cholda (kWh/kg _{água})
Fluxo cruzado e fluxo misto	0,7 – 1,2	(Jokiniemi & Ahokas, 2014)	0,72 – 1,12
Fluxo misto	0,7	(Brinker, 2010)	
Generalidade	1,1 – 2,2	(Jokiniemi & Ahokas, 2014)	

Dado que os secadores existentes na Quinta são do tipo fluxo misto, a Tabela 3.12 permite validar os resultados obtidos neste capítulo, para o consumo específico de energia onde estes se enquadram na gama de valores previstos por Jokiniemi & Ahokas (2014) para este tipo de secadores. Brinker (2010) apenas prevê um valor fixo para o consumo específico de energia, que condiz com o valor mínimo calculado neste capítulo.

4. Produção sustentável de calor na Quinta da Cholda

Na Quinta da Cholda existem duas áreas com elevado potencial de exploração, no que às energias renováveis diz respeito: a biomassa, resultante da exploração agrícola, e a energia fotovoltaica, que já é bastante utilizada na quinta. É sobre estas duas vertentes de energia que este estudo se focou. Conhecendo-se as necessidades energéticas que estão associadas à secagem do grão de milho, no presente capítulo avalia-se de que forma se conseguem satisfazer essas necessidades com os recursos energéticos endógenos disponíveis na Quinta.



4.1. Produção de energia renovável a partir de biomassa (bioenergia)

Existem duas fontes de bioenergia, na Quinta da Cholda, que podem ser utilizadas como fonte de calor: o carolo de milho e o pó de milho. Enquanto o carolo é obtido durante a debulha do milho, o pó é um produto resultante do processo de secagem do próprio grão, sendo um resíduo que fica no interior do secador no final da secagem de cada lote (Coimbra, 2018). A grande vantagem de se utilizar o carolo do milho reside no facto deste ser produzido em maior quantidade do que o pó de milho. Isto permite disponibilizar uma maior quantidade de biomassa, aumentando assim a rentabilidade do processo (Risques, 2015). Contudo, a sua recolha é complexa e aumenta a dificuldade das operações de recolha do grão de milho. O pó de milho, ao ser um produto que fica disponível imediatamente após a secagem, no interior da Quinta, torna a sua utilização mais acessível porque não necessita de ser transportado.

4.1.1. Caldeiras a biomassa

Neste capítulo são apresentadas duas opções para a utilização da biomassa disponível na Quinta da Cholda. A Tabela 4.1 resume as características de cada um dos dois modelos escolhidos para a produção de energia térmica, através dos resíduos da cultura do milho: o pó de milho e o carolo de milho. O critério de escolha destas caldeiras, face às restantes apresentadas na Tabela 2.3, residuiu no facto destas não necessitarem de um segundo sistema para transferir o calor para o ar, que irá ser direccionado para a secagem do grão. Outro critério, no caso da caldeira Gilles, foi o facto de esta ser capaz de satisfazer toda a energia necessária.

Tabela 4.1 - Características das caldeiras a biomassa selecionadas para a Quinta da Cholda

Aspetto das caldeiras		
Marca	Termo-Tech	Gilles
Modelo	Termo OP-70kW	HPKI-R 1400
Potência nominal (kW)	70	1400
Rendimento (%)	90	90
Caudal de ar (m³/h)	8 268	38 500
Consumo interno (W)	250	Não indicado
Preço (€) (iva incluído)	4 900	280 000
Referência	(Kotly, 2018)	(Gilles, 2018)

O custo da caldeira do fabricante Termo-Tech tem como base o valor indicado pelo revendedor da marca em Portugal (CaldeirasBiomassa, 2018), sendo que este, à data da consulta, apresentava um desconto de 1176 €, como se pode ver na ficha apresentada no Anexo B. Na Tabela 4.1 é apresentado o preço base da caldeira sem descontos.

O preço para a caldeira da marca Gilles foi disponibilizado através do contacto com o próprio fabricante (Anexo C). Apesar da caldeira da marca Gilles ter como potência nominal 1400 kW, o fabricante indica que esta consegue elevar a temperatura de um caudal de ar de 38 500 m³/h, até aos 150°C, o que a torna capaz de igualar as capacidades dos secadores existentes na quinta.

Como se pode observar, a potência que cada uma das caldeiras disponibilizada é bastante diferente entre si, devido ao facto de cada uma ter um âmbito diferente. Enquanto que a caldeira do fabricante Gilles se destina à queima de biomassa que permita satisfazer todas as necessidades energéticas da secagem do grão, a caldeira da marca Termo-Tech tem como objetivo fornecer parte da energia necessária ao processo de secagem, com custos de investimentos bastante inferiores e com o objetivo final em comum: reduzir as emissões de CO₂.

4.1.2. Pó de milho

Para se quantificar a energia que está disponível pela biomassa, é necessário conhecer-se o seu poder calorífico. A análise elementar do pó de milho produzido na Quinta da Cholda é apresentada na Tabela 4.2. A análise elementar foi realizada através do equipamento “Thermo Finnigan Elemental Analyser”.

Tabela 4.2 - Resultados da análise elementar ao pó de milho da Quinta da Cholda

Amostra	N (% m/m)	C (% m/m)	H (% m/m)	S (% m/m)
	Base seca	Base seca	Base seca	Base seca
1	0,48	42,22	5,76	<0,01
2	0,45	42,02	6,39	<0,01
3	0,80	42,71	6,69	<0,01
Média	0,60	42,32	6,28	<0,01

Existem inúmeras equações empíricas para a previsão do poder calorífico de um combustível, em função da sua composição elementar (Friedl, Padouvas, Rotter, & Varmuza, 2005). Friedl et al. (2005) definiram a Equação 4.1 para a quantificação do poder calorífico superior de biomassa em geral ($PCS_{pó}$) em função dos elementos descritos na Tabela 4.2.

$$PCS_{pó} = 3,55 \times C^2 - 232 \times C - 2230 \times H + 51,2 \times C \times H + 131 \times N + 20600 \quad (4.1)$$

Onde,

$PCS_{pó}$ representa o poder calorífico superior do pó de milho (MJ/kg)

C representa a molécula de carbono (% molar)

H representa a molécula de hidrogénio (% molar)

N representa a molécula de azoto (% molar)

Substituindo-se os valores das variáveis C, H, e N por 0,6, 42,32, e 6,28, respetivamente, obtém-se o valor apresentado na equação 4.2:

$$PCS_{pó} = 16,82 \text{ MJ/kg} \quad (4.2)$$

De modo mais correto deveria ser usado o $PCI_{pó}$, dado que este não engloba a energia necessária para a vaporização da humidade que está no interior do pó de milho. Para o cálculo do $PCI_{pó}$ contabilizou-se a energia necessária para elevar a água contida no grão até aos 373 K, tendo em conta um teor de humidade do pó de 9,9% (calor sensível) e a energia necessária para a mudança de estado da água (calor latente). A equação 4.3 representa este cálculo do $PCI_{pó}$.

$$PCI_{pó} = PCS_{pó} - Q_s \times \Delta T - Q_L \quad (4.3)$$

Onde,

$PCI_{pó}$ representa o poder calorífico inferior do pó de milho (MJ/kg)

Q_s representa o calor sensível da água (4,184 kJ/(kg K)) (EngineeringToolbox, 2018)

ΔT representa o aumento de temperatura (considerou-se uma elevação de temperatura de 15°C para 140°C)

Q_L representa o calor latente da água a 100°C (2625 kJ/(kg)) (EngineeringToolbox, 2018)

Substituindo os valores das variáveis pelos respetivos valores acima indicados, obtêm-se:

$$PCI_{pó} = 14,23 \text{ MJ/kg} \quad (4.4)$$

Na Quinta da Cholda produz-se um valor médio de 0,5 kg do pó de milho, por cada tonelada de milho húmido produzido (Coimbra, 2018). Assim, a equação 4.5 representa o valor total de energia ($E_{pó}$) disponibilizada pela massa de milho húmido ($m_{m.h.}$).

$$E_{pó} = PCI_{pó} \times 0,5 \times m_{m.h.} \quad (4.5)$$

Onde,

$PCI_{pó}$ representa o poder calorífico inferior do pó de milho, calculado na equação 4.4 (MJ/kg)

0,5 representa a produtividade de pó de milho, por cada tonelada de milho húmido (kg)

$m_{m.h.}$ representa a massa de milho húmido produzida (kg)

De modo a perceber-se o impacto que este combustível poderá ter, em termos energéticos, no processo de secagem do milho, comparou-se o seu impacto nos gastos energéticos, da Quinta da Cholda, com combustível fóssil, nos últimos 5 anos (Tabela 4.3). Porém, como é necessário utilizar-se uma caldeira para a combustão desta biomassa, há uma perda de rendimento a ela associada, não sendo assim possível utilizar-se toda a energia nela disponível.

Para o cálculo da percentagem de autoconsumo através da biomassa (Tabela 4.3), considerou-se um valor de 90% para o rendimento da caldeira, de forma a ir ao encontro do que foi apresentado na Tabela 4.1.

Tabela 4.3 - Impacto do pó de milho na geração de energia para o processo de secagem de milho na Quinta da Cholda

Parâmetro	2013	2014	2015	2016	2017
Energia gasta na Quinta na secagem do milho (MWh)	395	570	571	698	306
Massa de pó de milho (kg)	2 087	3 500	3 464	3 603	3 876
Energia disponibilizada pelo pó de milho (MWh)	7,4	12,4	12,3	12,8	13,8
Percentagem da energia do pó de milho na energia total gasta na Quinta (%)	1,9	2,2	2,2	1,8	4,5

Observa-se que a capacidade energética que o pó de milho pode disponibilizar é muito reduzido relativamente às necessidades do processo de secagem, sendo por isso necessário o estudo de outras fontes de bioenergia, para tornar possível a utilização de uma caldeira de biomassa. Assim, surge o estudo do potencial energético do carolo do milho, que é apresentado no próximo capítulo.

4.1.3. Carolo de milho

Para determinar a energia que está contida no carolo de milho é necessário conhecer-se dois parâmetros: o PCI do carolo (PCI_{carolo}) e a relação de produção carolo/milho.

Os valores encontrados em bibliografia indicam que o PCS_{carolo} poderá variar entre 18,3 e 18,8 MJ/kg (Kaliyan & Morey, 2010) e o PCI_{carolo} apresenta valores na ordem dos 17,3 MJ/kg (Biagini, Barontini, & Tognotti, 2015).

A produção de resíduos de milho (carolo, folhas, caules) está diretamente associada à produtividade da própria cultura. Esta relação resíduo/grão pode variar entre 0,9 e 1,1 ($kg_{resíduo}/kg_{grão}$) (Kadam & McMillan, 2003). Estes autores afirmam que, para produtividades de milho superiores a 9,4 $t_{grão}/ha$, a razão resíduo/grão pode diminuir até 0,9; para produtividades inferiores pode ir até 1,1. No caso específico da Quinta da Cholda, a produtividade média dos últimos 5 anos foi de 16,3 $t_{grão}/ha$, assumindo-se assim uma razão de 0,9 da razão resíduo/grão para os cálculos seguintes.

No que diz respeito à quantidade de carolo produzida, um primeiro artigo indica que 8% a 9% dos resíduos da cultura de milho correspondem ao carolo (Kadam & McMillan, 2003). Assim, a Equação 4.6 apresenta a massa de carolo produzida em função da massa de milho colhida. O fator 0,9 corresponde ao rácio resíduo/grão e o fator 0,08 corresponde à percentagem de carolo produzida na totalidade dos resíduos da planta.

$$m_{carolo} = 0,9 \times m_{milho} \times 0,08 \quad (4.6)$$

Onde,

m_{carolo} representa a massa de carolo que se obtêm em função da produção de milho (kg)

m_{milho} representa a massa de milho húmido produzido (kg)

A Tabela 4.4 resume os valores para a massa de carolo produzido nos últimos 5 anos.

Tabela 4.4 - Produção de carolo de milho na Quinta da Cholda, em função de dados de produção de resíduos e produtividade da cultura de milho disponíveis na bibliografia

Referência	2013	2014	2015	2016	2017
(Kadam & McMillan, 2003)	333 970	559 955	554 201	576 410	620 218

Multiplicando a massa de carolo teoricamente disponível pelo PCI_{carolo} , obtém-se a energia associada a essa massa (em MJ). A Tabela 4.5 resume a energia teoricamente disponibilizada pelo carolo de milho. De modo semelhante ao que foi descrito na secção 4.1.2, ao ser necessário utilizar-se um permutador de calor na caldeira de biomassa, existe um rendimento de aproveitamento da energia inicial contida no carolo de milho. Este rendimento deverá rondar 90% neste equipamento, o que está de acordo com as caldeiras escolhidas (Tabela 4.1). Desta forma, consegue-se determinar a energia que seria expectável obter com a queima do carolo de milho.

Foi ainda calculado, em função do PCI_{carolo} , a massa de carolo de milho que seria necessária para satisfazer as necessidades energéticas da secagem do grão de milho.

Tabela 4.5 - Impacto do carolo de milho na geração de energia para o processo de secagem de milho na Quinta da Cholda

	2013	2014	2015	2016	2017
Energia gasta na Quinta na secagem do milho (MWh)	395	570	571	698	306
Massa de carolo colhida (kg)	333 970	559 955	554 201	576 410	620 218
Massa de carolo necessária (kg)	82 202	118 586	118 877	145 240	63 671
Energia contida no carolo de milho (MWh)	1 444	2 422	2 397	2 493	2 682
Percentagem da energia do carolo de milho na energia total gasta na Quinta (%)	366	425	420	357	877

O potencial energético que existe no carolo de milho (Tabela 4.5) é suficiente para secar toda a cultura do grão, em cada ano. O ano de 2017 surge com o dobro da capacidade de abastecimento energético, uma vez que, para a mesma quantidade de milho produzida, foi necessária menos energia na secagem devido aos menores teores de humidade inicial no grão.

Esta análise torna viável a utilização desta biomassa como fonte energética, desde que o investimento necessário não seja demasiado elevado. Este investimento é estudado mais à frente neste trabalho, no capítulo da análise económica. Não se deverá esquecer que os constrangimentos técnicos da recolha do carolo do milho, atualmente existentes, terão também que ser ultrapassados para que esta energia possa estar efetivamente disponível.

4.1.4. Outros tipos de biomassa

Como o pó de milho demonstrou não ser suficiente para a secagem do grão, e o facto do carolo de milho depender do investimento em máquinas que permitam a recolha no campo, foi estudada a hipótese de compra de outros tipos de biomassa, que por sua vez poderão ser utilizadas na caldeira Termo-Tech OP-70.

Os dois tipos de biomassa considerados para este estudo são obtidos em território nacional, facilitando assim o processo de aquisição e tendo um menor impacto em termos de emissões associadas ao seu transporte. Foi considerado o caroço de azeitona, com um PCI de 22 MJ/kg, e a casca de amêndoa, com um PCI de 19,8 MJ/kg (Saidur, Abdelaziz, Demirbas, Hossain, & Mekhilef, 2011).

A Tabela 4.6 indica a quantidade que seria necessária de cada biomassa para abastecer duas caldeiras Termo-Tech OP-70 (uma por cada secador existente na Quinta da Cholda). Considerou-se que estas funcionariam durante o mesmo tempo que os secadores, em cada ano. O cálculo da energia foi realizado considerando uma potência nominal de 70 kW, com um rendimento de 90%, retirando a potência consumida internamente, no valor de cerca de 250 W.

Tabela 4.6 - Massa de biomassas alternativas necessária para alimentar duas caldeiras Termo-Tech OP-70

Parâmetro	2013	2014	2015	2016	2017
Tempo de funcionamento (h)	754	1 328	1 176	1 354	888
Energia produzida (MWh)	94,6	167	148	170	111
Massa de caroço de azeitona (kg)	15 484	27 272	24 147	27 806	18 236
Massa de casca de amêndoa (kg)	17 205	30 303	26 830	30 896	20 263

Por forma a quantificar-se o investimento em combustível necessário para uma análise económica, procurou-se conhecer o preço de aquisição de cada tipo de biomassa. O caroço de azeitona pode ser adquirido a cerca de 145 € por tonelada (IVA incluído) (Casa do Lavrador, 2018); a casca de amêndoa pode ser adquirida a 180 € por tonelada (IVA incluído) (Casa do Lavrador, 2018). Com base nestes dados e apenas como exemplo, a energia que poderia ser obtida através da caldeira Termo-Tech OP-70 correspondia, para o ano de 2017, a 36% da energia total necessária ao processo de secagem do milho. Nestas condições, no caso do caroço de azeitona, a aquisição da quantidade desta biomassa necessária ao processo teria um custo de 2 644,26 €, ao passo que, a quantidade equivalente de diesel teve um custo de 6 186,75 €. A análise mais aprofundada dos custos de aquisição entre os dois tipos de combustível (diesel ou biomassa) será feita no capítulo da análise económica.

A grande vantagem da utilização destes tipos de biomassa é a valorização de um subproduto de outra atividade económica, nomeadamente a produção de azeite e de amêndoa, apresentando um elevado potencial energético, ao contrário da utilização de, por exemplo, madeira que poderá ter outras valorizações mais nobres (produção de mobiliário, produção de materiais de revestimento, produção de soalhos, entre muitas outras aplicações).

4.2. Energia fotovoltaica

A forma de se utilizar a energia fotovoltaica para o processo de secagem do milho pode realizar-se através da dissipação de calor, por efeito de Joule numa resistência, para o caudal de ar que atravessa essa resistência e que é direcionado para o interior do secador. Deste modo, com a utilização da energia fotovoltaica, a Quinta consegue diminuir as suas emissões de CO₂, tendo já demonstrado resultados na capacidade de fornecer toda a energia usada no sistema de rega e que apresenta um elevado potencial para ter o mesmo impacto na secagem do milho.

Com uma potência pico instalada de 1400 kW no ano de 2017, produziu-se um total de 2 170 MWh nesse ano (Coimbra, 2018). Para esse mesmo ano, contabilizou-se um consumo elétrico na ordem dos 1 600 MWh, o que resulta em cerca de 570 MWh disponíveis para utilização no processo de secagem.

No entanto, esta corresponde a uma produção de energia ao longo de um ano e as necessidades energéticas da secagem do grão de milho, além de estarem concentradas durante dois meses do ano, ocorrem também durante o período da noite, onde não há produção fotovoltaica, para além do período diurno. Apesar de não existir, em Portugal, o conceito de *net-metering*, em que a energia excedentária produzida é injetada na rede e, mais tarde, numa situação em que o consumo seja superior à produção, consome-se energia da rede, contabilizando-se no final o balanço entre produção e consumo, praticam-se as chamadas tarifas *feed-in*, onde se vende a totalidade da energia à rede, a um preço superior ao de compra de energia (Alves, 2014). Isto permite “armazenar-se” energia na rede e, no caso de Portugal, em que o preço de compra é inferior ao preço de venda, obter-se um saldo positivo em termos financeiros (Alexandre, 2015).

Outro fator que é necessário ter em conta é a existência de perdas no processo de conversão de energia elétrica em calor. Estas perdas devem-se sobretudo à radiação emitida pelo corpo quente (o fio elétrico) e o seu valor depende de algumas variáveis, como, por exemplo, a temperatura do fio e a sua geometria. Neste capítulo, apresenta-se o dimensionamento do sistema elétrico, que permite obter a energia térmica necessária para satisfazer todas as necessidades do processo de secagem de milho. O sistema a dimensionar será baseado numa conduta de ar com as resistências elétricas colocadas no seu interior, como é exemplificado no modelo da Figura 4.1.

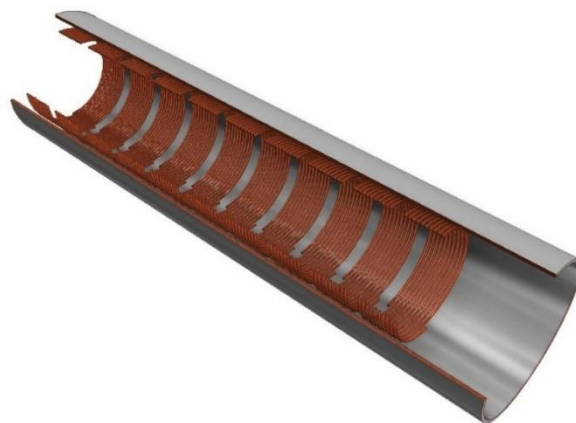


Figura 4.1 - Modelo do sistema elétrico constituído por uma conduta, com uma série de resistências no interior

4.2.1. Dimensionamento das resistências elétricas

No presente trabalho pretende-se adaptar um sistema produtor de calor renovável que será acoplado ao secador já existente na Quinta da Cholda. Neste sentido, é necessário conhecer-se as características dos dois secadores já existentes e que condicionam o dimensionamento deste sistema. Um dos dados importantes indica que o caudal máximo que se consegue obter é de 35 000 m³/h (11,91 kg/s) (Fratelli Pedrotti, 2018) (Anexo A). No caso da Quinta da Cholda, este caudal de ar é submetido a um aumento da temperatura até aos 140°C (Coimbra, 2018).

Assim, procurou-se conhecer as temperaturas máximas e mínimas da região, uma vez que estas são uma das variáveis envolvidas neste dimensionamento. Como os secadores funcionam durante 24 horas por dia, o pior caso a considerar será aquele em que o ar exterior regista a temperatura mais baixa, uma vez que é necessário fornecer-se mais energia para elevar o ar até aos 140°C. De acordo com o Instituto Português do Mar e da Atmosfera, a menor temperatura mínima registada na região da Golegã foi nos meses de setembro e outubro de 2017, onde se registaram 10°C em ambos os meses (IPMA, 2018). Porém, como esta temperatura representa uma parte muito reduzida do dia e faz com que a potência necessária seja bastante superior, é considerada uma temperatura mínima de 15°C, como temperatura ambiente para os próximos cálculos.

A Equação 4.7 permite calcular a potência térmica que é necessária fornecer através das resistências elétricas, P_t (kW), para elevar um determinado caudal de ar, desde a temperatura ambiente até aos 140°C (temperatura do ar para a secagem do grão).

$$P_t = \dot{m}_{ar} \times Cp \times (T_{as} - T_{ae}) \quad (4.7)$$

Onde,

P_t corresponde à potência térmica necessária para elevar a temperatura do ar (kW)

\dot{m}_{ar} corresponde ao caudal mássico de ar (11,91 kg/s);

Cp corresponde ao calor específico do ar a 55°C (1,0067 kJ/kg.K) (ISEL, 2018)

T_{as} corresponde à temperatura do ar aquecido (413 K)

T_{ae} corresponde à temperatura do ar ambiente (288 K)

Substituindo os valores das variáveis pelos respetivos valores acima indicados, obtêm-se:

$$P_t = 1499 \text{ kW} \quad (4.8)$$

Esta potência P_t é a potência máxima que o secador tem de ter para garantir a elevação da temperatura até aos 140°C, para o caudal máximo do secador. Porém, há que ter em consideração que o secador existente na Quinta possui dois bicos injetores de diesel e o segundo bico injetor só é utilizado quando a temperatura ambiente é demasiado reduzida e não se consegue atingir a temperatura necessária com um único bico injetor (Coimbra, 2018).

Outro fator relevante é que, mesmo com a utilização de um único bico, a sua utilização não é feita na sua total capacidade, uma vez que a partir de um determinado valor de temperatura, diminui o

rendimento do processo, para além de deteriorar a qualidade do próprio grão, como já foi explicado na secção 2.3. Deste modo, ao dimensionar-se o sistema para a potência máxima que foi calculada (1499 kW), garante-se uma margem na qual a quinta não opera e que serve para possíveis desvios num sistema real. Como demonstração deste facto, a Tabela 4.7 indica a energia que seria obtida se o sistema estivesse a trabalhar na sua capacidade máxima, durante o mesmo tempo que foi necessário para a secagem em cada ano.

Tabela 4.7 - Energia que se pode obter à capacidade máxima do sistema de secagem do grão de milho existente na Quinta da Cholda

Parâmetro	Anos				
	2013	2014	2015	2016	2017
Energia consumida (MWh)	395	570	571	698	306
Horas de funcionamento (h)	754	1 328	1 176	1 354	888
Energia máxima possível (MWh)	1 130	1 991	1 763	2 030	1 331

Tal como se demonstra na Equação 4.7, a potência necessária para elevar a temperatura do ar até aos 140°C depende fortemente do caudal mássico do ar na conduta, sendo assim vantajoso diminuir este caudal de forma a reduzir-se significativamente o valor da potência associada. Desta forma, indo ao encontro das condições de utilização do secador na Quinta, em que este só é utilizado na sua máxima potência em situações específicas, consideraram-se quatro condutas de ar no dimensionamento do sistema elétrico, cada uma com as resistências elétricas associadas. Consegue-se assim utilizar o número de condutas em função das necessidades energéticas que se pretendem e, com esta solução, apenas será preciso elevar a temperatura de um caudal de 8750 m³/h (por conduta) até aos 140°C, resultando numa potência de 375 kW por conduta. A Figura 4.2 representa esquematicamente esta disposição das condutas.

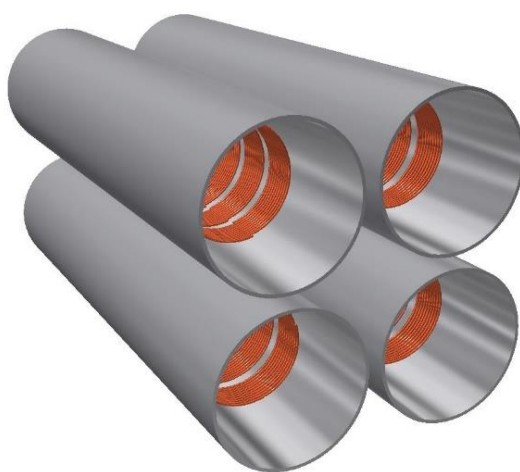


Figura 4.2 - Modelo do sistema elétrico com 4 condutas

Como uma resistência só transmite calor por ser um corpo quente, está intrinsecamente associada a ela perdas de potência por radiação (Incropera, DeWitt, Bergman, & Lavine, 2007). Ao contrário da transferência de calor por condução e convecção, que requerem um meio sólido ou líquido para ocorrerem, a radiação pode-se propagar no vácuo, sendo por isso consideradas como perdas energéticas, uma vez que, utilizando o caso específico deste trabalho, esta energia não será convertida para o caudal de ar que atravessa a conduta, mas sim transmitida para as paredes desta, que por sua vez perdem calor para o ar exterior (Incropera et al., 2007).

Assim, a lei de Stefan-Boltzmann permite calcular a potência emitida por radiação a partir de um corpo negro, por unidade de área. A emissividade ε de um corpo negro é igual a 1. Contudo, uma resistência elétrica não se comporta como um corpo negro, sendo assim incluída nesta lei a emissividade do material que compõe a resistência elétrica (Incropera et al., 2007).

A Equação 4.9 representa a lei de Stefan-Boltzmann que permite calcular a potência emitida por radiação (P_{diss}), por unidade de área (m^2). Ao multiplicar-se este valor pela área da superfície total da resistência elétrica (m^2), obtém-se a potência perdida por radiação.

$$P_{diss} = \sigma \times \varepsilon_{NiCr} \times T^4 \quad (4.9)$$

Onde,

P_{diss} representa a potência dissipada por cada resistência (W)

ε_{NiCr} representa a emissividade do material Cromo-Níquel ($\varepsilon_{NiCr} = 0,25$) (Bramson M., 2018)

σ é a constante de Stefan-Boltzmann ($5,67 \times 10^{-8} \text{ W/m}^2\text{.K}$) (Incropera et al., 2007)

T é a temperatura a que se encontra a resistência (340 K) (Resiprel, 2018).

Substituindo-se as variáveis pelos valores respetivos indicados acima, obtém-se o seguinte resultado:

$$P_{diss} = 189 \frac{W}{m^2} \quad (4.10)$$

Consultado o fabricante de resistências elétricas Resiprel, foi indicado que a melhor opção para este estudo seria a utilização de uma resistência com o diâmetro de 7 mm e 5 m de comprimento (comprimento do tubo da resistência antes de ser moldado), fornecendo uma potência de 5 kW (Resiprel, 2018). Com os dados relativos à geometria da resistência, torna-se então possível calcular a sua área da superfície e multiplicar o valor obtido pelo resultado da Equação 4.10.

Aplicando a Equação 4.9 com os dados fornecidos pelo fabricante de resistências, obtém-se uma potência perdida por radiação (P_{diss}) por resistência no valor de 21 W. Conhecendo este dado torna-se então possível determinar o número de resistências necessárias para cada conduta, para obter um total de 375 kW de potência térmica. A Equação 4.11 representa o cálculo do número de resistências necessárias (n_r) para se obter a potência desejada:

$$n_r = \frac{P_c}{P_r - P_{diss}} \quad (4.11)$$

Onde,

n_r representa o número de resistências necessárias por cada conduta;

P_c representa a potência térmica desejada (375 kW);

P_r representa a potência associada a cada resistência elétrica (kW).

Cada uma destas resistências terá um custo de 30 € (Resiprel, 2018) e, tendo em conta que são quatro conjuntos de setenta e cinco resistências, o investimento que teria de ser feito para um sistema elétrico seria de 9000 €, por secador. Porém, a instalação deste sistema carece de mais equipamentos para além das resistências, como é o caso do material elétrico para a sua instalação e a respetiva mão de obra, os ventiladores necessários para garantir o caudal em cada conduta e a própria conduta.

De acordo com as informações obtidas através de alguns fabricantes, o custo em material elétrico e a respetiva mão de obra para a instalação do sistema, em estimativa, teria um valor de cerca de 5000 € (sobrevalorizado). Os ventiladores necessários, um por cada conduta para garantir o caudal de ar, teriam um custo de 2000€ (Sodeca, 2018). As condutas de ar têm um comprimento de 10 metros, por forma a ser possível a instalação das 75 resistências, com 0,1 m de largura, cada uma. O preço de cada metro de conduta é de 200 € (Sandometal, 2018), resultando num custo de 8000 € pelas quatro condutas. O custo total do sistema para cada secador será de 24000 €, resultando num investimento de 48000 € para os dois secadores.

Porém, como pode ser demonstrado através da Equação 4.12, este sistema envolve valores de corrente demasiado elevados e o sistema elétrico implementado na região poderá ter quebras de energia, no momento em que as quatro condutas estejam a funcionar (provavelmente só estarão a funcionar todas em simultâneo durante a noite, quando a temperatura do ar for menor e a rede elétrica não estiver muito sobrecarregada).

$$I_t = \frac{4 \times P_c}{U} \quad (4.12)$$

Onde,

I_t representa a corrente total necessária ao sistema (A)

P_c representa a potência térmica por conduta (375 kW)

U representa a tensão trifásica (400 V)

Substituindo os valores das variáveis P_c e U por 375 e 400, respetivamente, obtém-se o seguinte valor para I_t (Equação 4.13):

$$I_t = 3\,750\,A \quad (4.13)$$

De salientar que, este valor obtido (I_t) é apenas para um dos secadores. Desta forma, pode-se concluir que, sem um reforço do posto de transformação da região, bem como da própria rede elétrica, não será possível implementar um sistema com esta envergadura em termos de potência térmica.

Este estudo pretende apresentar várias alternativas à produção de calor através de diesel e como já foi demonstrado que um sistema totalmente elétrico é possível, mas apenas com um reforço na rede elétrica, pretende-se agora demonstrar que impactos energéticos terá um sistema com apenas uma das condutas mencionadas acima. O que se pretende com esta hipótese é fornecer apenas uma parte da energia ao processo, reduzindo as emissões de CO₂ associadas.

A Tabela 4.8 mostra os valores associados à energia disponibilizada pelos 750 kW de potência elétrica (375 kW por cada um dos secadores) considerando que o sistema funciona durante o mesmo tempo que os secadores, em cada ano.

Tabela 4.8 - Energia que se pode obter à capacidade máxima de uma conduta elétrica

Parâmetro	2013	2014	2015	2016	2017
Energia consumida (MWh)	395	570	571	698	306
Horas de funcionamento (h)	754	1 328	1 176	1 354	888
Energia máxima que pode ser obtida à potência máxima (MWh)	283	498	441	508	333

Apesar de se observar que uma conduta seria capaz de fornecer quase toda a energia necessária, há que relembrar que estes valores são para a sua utilização em plena capacidade, ao contrário do sistema com quatro condutas, que foi projetado para assegurar a mesma potência que os secadores atuais apresentam. Este sistema terá um custo de 12000 € (1/4 do custo do sistema com quatro condutas).

O cálculo das emissões de CO₂ que se reduzem com este tipo de sistemas é descrito mais à frente neste trabalho, na secção 4.3.

4.3. Emissões de CO₂

Uma análise à redução das emissões de CO₂ permite avaliar qual o impacto que decorrerá, para a Quinta da Cholda, na adoção de formas de produção de calor alternativas ao diesel e de origem renovável. Esta análise foi feita comparando as emissões que se podem reduzir relativamente a alguns meios de transporte atuais que fazem uso de motores de combustão interna a diesel, permitindo assim medir a escala de reduções com casos reais do dia a dia. A Tabela 4.9 mostra as emissões médias de diferentes tipos de transporte. A Tabela 4.10, por sua vez, compara o trabalho que poderia ser realizado por cada um dos tipos de transporte se se utilizasse a mesma quantidade de diesel que foi gasto em cada ano na Quinta da Cholda.

Esta análise, para o caso de um automóvel ligeiro e de um camião de mercadorias, foi realizada considerando-se valores estipulados em bibliografia, em termos de emissões por cada quilómetro percorrido pelos veículos (g CO₂/km). Para o caso dos tratores agrícolas, foi tido em conta o consumo médio de diesel por cada hectare coberto pelo trabalho desses tratores, sabendo que, em média, um trator agrícola consome 9,35 L_{diesel}/ha (Grisso, Kocher, & Vaughan, 2004) e que, em 2017, a área de cultivo na Quinta da Cholda foi de 433 ha (Coimbra, 2018) e que foram gastos cerca de 4049 litros de diesel (considerando apenas o percurso de um trator, exclusivamente na colheita do milho). Utilizando a relação estequiométrica da equação 3.10 obtêm-se as emissões de CO₂ que um trator agrícola causa, durante a sua atividade. É expectável que o consumo total de diesel em veículos agrícolas, na Quinta da Cholda, seja superior a este valor, uma vez que existem mais deslocações e mais veículos, para além do que foi considerado nesta análise.

Tabela 4.9 - Emissões de CO₂ de diferentes tipos de veículos com motor a diesel

Tipo de transporte	Emissões de CO ₂	Referência
Automóvel ligeiro	251 g CO ₂ /km	(EPA, 2018)
Camião de mercadorias	900 g CO ₂ /km	(Seo, Park, Oh, & Park, 2016)
Trator agrícola	24 kg CO ₂ /ha	(Grisso et al., 2004)

A Tabela 4.10 foi obtida através das emissões apresentadas na Tabela 4.9, indicando o número de quilómetros que se conseguem fazer com cada um dos veículos, até igualar as emissões associadas aos secadores da Quinta da Cholda (ver secção 3.2.3).

Tabela 4.10 - Análise comparativa das emissões equivalentes de vários tipos de veículos com motor a diesel

	Anos				
	2013	2014	2015	2016	2017
Emissões no secador (t CO₂)	99	143	144	175	77
Distância percorrida por um automóvel ligeiro (km)	395 460	570 499	571 897	698 728	306 311
Distância percorrida por um camião de mercadorias (km)	110 289	159 106	159 496	194 867	85 427
Área coberta por um trator agrícola (ha)	4 136	5 966	5 981	7 308	3 204

Relativamente ao trator agrícola, no caso da Quinta da Cholda, em 2016 foram gastos cerca de 41 069 litros de diesel nas máquinas agrícolas (Coimbra, 2018). Tendo em conta que, nesse mesmo ano, foram gastos 67 977 litros de diesel na secagem do grão, a eliminação do consumo de diesel no secador permitia contrabalançar as emissões resultantes da utilização de diesel nas máquinas agrícolas.

A Tabela 4.11 faz a mesma análise das emissões, mas para o caso do sistema elétrico com apenas uma conduta, onde se produz apenas parte da energia necessária ao processo de secagem.

Tabela 4.11 – Poupança de diesel e redução das emissões de CO₂ associadas ao sistema elétrico com uma conduta

Parâmetro	Anos				
	2013	2014	2015	2016	2017
Poupança de diesel (L)	27 538	48 502	42 943	49 452	29 800
Redução de emissões CO₂ (t)	71	125	111	128	77

Foi também sugerida uma caldeira a biomassa com 70 kW de potência nominal (Termo-Tech OP-70), de modo a satisfazer parte das necessidades energéticas, com um investimento inicial inferior. Deste modo, foi feita a mesma análise para esta caldeira e conclui-se que a utilização desta caldeira (uma por cada um dos dois secadores existentes na quinta) permitiria reduzir entre 24% a 36% das emissões, nos anos de 2013 a 2017. A Tabela 4.12 resume a poupança de diesel e a redução das emissões de CO₂ que poderiam ser atingidas através da utilização da caldeira a biomassa Termo-Tech OP-70.

Tabela 4.12 - Poupança de diesel e redução das emissões de CO₂ associadas à caldeira Termo-Tech OP-70

Parâmetro	Anos				
	2013	2014	2015	2016	2017
Poupança de diesel (L)	9 253	16 297	14 429	16 616	10 848
Redução de emissões CO₂ (t)	24	42	37	43	28

Como se sabe, as emissões de CO₂ que resultam da combustão da biomassa têm origem no carbono fixado pela planta durante o processo de fotossíntese. Devido a este facto, caso existam sumidouros de CO₂ que fixem o carbono, na mesma quantidade que o libertado durante a combustão da biomassa, o balanço líquido deste gás poluente é considerado neutro para o balanço atmosférico (McKendry, 2002). No caso específico desta análise, como a Quinta da Cholda é uma unidade agrícola industrial, a queima de biomassa para suprir as suas necessidades energéticas pode ser considerada como sendo quase neutra relativamente às emissões de CO₂. As emissões são consideradas como “quase neutras” uma vez que é emitido CO₂ em algumas atividades que envolvem a produção de calor através da biomassa, como por exemplo a atividade da maquinaria que transporta a biomassa.

4.4. Análise económica

4.4.1. Fontes de energia fóssil e renováveis

A presente secção inicia-se com uma tabela resumo dos custos energéticos associados à utilização de diesel no processo de secagem do grão de milho, nos últimos 5 anos de funcionamento da Quinta da Cholda. Posteriormente, são apresentados os custos associados às várias alternativas de produção de energia renovável já discutidas nas secções anteriores: Energia elétrica de origem fotovoltaica; Calor produzido por utilização de caldeiras a biomassa (carolo de milho; caroço de azeitona; casca de amêndoa).

Na Tabela 4.13 pode-se observar que, em virtude da descida do preço do diesel agrícola nos últimos 5 anos, registou-se uma redução do custo deste combustível por unidade de energia (€/MWh).

Tabela 4.13 - Análise económica da utilização efetiva de diesel como fonte energética no processo de secagem do grão de milho na Quinta da Cholda

Parâmetro	Anos				
	2013	2014	2015	2016	2017
Diesel consumido (L)	38 473	55 502	55 638	67 977	29 800
Preço do diesel (€/L)	0,818	0,751	0,579	0,564	0,57
Custo com o diesel (€)	31 471	41 671	32 214	38 339	16 986
Energia produzida (MWh)	395	570	571	698	306
Custo específico do diesel (€/MWh)	79,7	73,1	56,4	54,9	55,5

A Tabela 4.14 mostra os custos associados à utilização do carolo de milho como fonte renovável na secagem do milho. Note-se que, apesar do carolo de milho não ter qualquer custo de aquisição uma vez que é um subproduto da cultura do milho, é necessária a utilização de máquinas agrícolas para a sua recolha no campo durante a debulha do milho. Essas máquinas agrícolas fazem uso de diesel para a sua locomoção. Tendo em consideração este fator, é necessário contabilizar-se o diesel consumido por estas máquinas durante a recolha do milho.

Como no presente trabalho se está a estudar apenas os gastos associados à secagem do grão de milho, faz sentido incluir-se apenas o diesel consumido na recolha da quantidade mínima necessária para a produção de calor do processo de secagem. Desta forma, e considerando que no ano 2016 foram gastos 41 069 litros de diesel em toda a logística de recolha de milho, realizou-se uma proporção relativamente ao milho colhido que dará origem às quantidades mínimas de carolo necessárias para secar todo o milho de cada campanha anual.

Como apenas foi disponibilizado o diesel consumido pelas máquinas agrícolas no ano de 2016, assumiu-se um gasto idêntico por hectare para cada um dos 5 anos em estudo. Salienta-se ainda que, entre 2014 e 2017, a área de cultivo não variou muito, mas em 2013 a área de cultivo foi inferior em 200 ha relativamente aos restantes anos (ver Figura 3.2), o que explica o maior custo por unidade energética nesse ano (€/MWh).

A análise da Tabela 4.14 permite concluir que o custo do carolo por unidade de energia (€/MWh) é inferior ao do diesel, o que o torna uma opção bastante viável em termos energéticos.

Tabela 4.14 - Análise económica da potencial utilização de carolo de milho como fonte energética na secagem do grão de milho na Quinta da Cholda

Parâmetro	Anos				
	2013	2014	2015	2016	2017
Diesel poupado (L)	38 473	55 502	55 638	67 977	29 800
Quantidade mínima de carolo necessária (kg)	82 202	118 586	118 877	145 240	63 671
Custo do carolo (€)	8 737	7 026	5 554	6595	2843
Custo mássico do carolo (€/kg)	0,106	0,059	0,047	0,045	0,045
Custo específico do carolo por unidade de energia (€/MWh)	22,1	12,3	9,7	9,4	9,3

Relativamente à utilização de energia elétrica, considerou-se o preço de compra de energia à rede que é de 0,10 €/kWh (100 €/MWh). Como já foi mencionado na secção 4.1, a Quinta da Cholda produziu, no ano de 2017, um total de 2 170 MWh de energia elétrica fotovoltaica e teve um consumo de 1 600 MWh, o que resulta em 570 MWh que podem ser utilizados num sistema elétrico. Considerou-se ainda que, apesar de se vender toda a produção energética à rede e posteriormente se comprar a energia necessária para o funcionamento da Quinta (em especial os *pivots* de rega), apenas se compraria o excedentário nos anos em que o consumo fosse superior à produção.

É de salientar que esta fonte de energia é rentável apenas porque existe produção fotovoltaica na Quinta da Cholda. Como se pode ver na Tabela 4.15, o custo por unidade energética (€/MWh) é bastante superior ao custo do diesel, o que tornaria o sistema muito pouco rentável face à utilização de diesel, no caso de não existir produção fotovoltaica.

Tabela 4.15 - Análise económica da potencial utilização de energia elétrica como fonte energética na secagem do grão de milho na Quinta da Cholda

Parâmetro	Anos				
	2013	2014	2015	2016	2017
Diesel poupado (L)	38 473	55 502	55 638	67 977	29 800
Energia comprada à rede (MWh)	0	0	1,27	128	0
Custo total da energia elétrica (€)	0	0	127	12 796	0
Custo específico da energia elétrica (€/MWh)	0	0	100	100	0

A Tabela 4.16 resume a análise económica à utilização do caroço de azeitona como fonte de energia parcial, através da utilização da caldeira Termo-Tech OP-70. Os gastos associados a este combustível têm em consideração a utilização de uma caldeira deste tipo por cada um dos secadores

existentes na quinta (dois no total), pelo que a sua utilização tem como base a redução parcial do consumo de diesel.

Tabela 4.16 - Análise económica da potencial utilização de caroço de azeitona como fonte energética na secagem do grão de milho na Quinta da Cholda

Parâmetro	Anos				
	2013	2014	2015	2016	2017
Energia produzida (MWh)	95	167	148	170	111
Poupança volúmica de diesel (L)	9 216	16 232	14 372	16 550	10 854
Poupança económica de diesel (€)	5 294	8 233	4 820	5 302	3 542
Quantidade de caroço de azeitona necessária (kg)	15 484	27 272	24 147	27 806	18 236
Custo mássico do caroço de azeitona (€/kg)	0,145	0,145	0,145	0,145	0,145
Custo total caroço de azeitona (€)	2 245	3 954	3 501	4 032	2 644
Custo específico do caroço de azeitona por unidade de energia fornecida (€/MWh)	23,7	23,7	23,7	23,7	23,7

A Tabela 4.16 permite observar que o custo energético do caroço de azeitona é inferior ao do diesel, o que torna este combustível um potencial recurso a ser utilizado no futuro. É ainda necessário estudar-se o impacto que o investimento em equipamentos terá nos custos da implementação deste sistema.

A utilização de casca de amêndoa é semelhante à do caroço de azeitona, diferenciando-se nos seguintes aspetos: (i) conteúdo energético – como este é inferior ao do caroço de azeitona, será necessária utilizar-se uma maior quantidade de casca de amêndoa do que de caroço, (ii) no seu custo de aquisição – o custo de aquisição de casca de amêndoa é superior ao do caroço de azeitona. Estes dois fatores diferenciadores podem ser evidentes na Tabela 4.17, onde se resume os gastos e os custos associados a esta fonte energética.

Tabela 4.17 - Análise económica da potencial utilização de casca de amêndoa como fonte energética na secagem do grão de milho na Quinta da Cholda

Parâmetro	Anos				
	2013	2014	2015	2016	2017
Energia produzida (MWh)	95	167	148	170	111
Poupança volúmica de diesel (L)	9 216	16 232	14 372	16 550	10 854
Poupança económica de diesel (€)	4 442	6 733	3 492	3 773	2 539
Quantidade de casca de amêndoa necessária (kg)	17 205	30 303	26 830	30 896	20 263
Custo mássico da casca de amêndoa (€/kg)	0,18	0,18	0,18	0,18	0,18
Custo total da casca de amêndoa (€)	3 097	5 454	4 829	5 561	3 647
Custo específico da casca de amêndoa por unidade de energia fornecida (€/MWh)	32,7	32,7	32,7	32,7	32,7

4.4.2. Equipamentos

A implementação de qualquer um dos sistemas estudados anteriormente implica a realização de investimentos em equipamentos, que, em alguns casos, podem ser bastante avultados. A partir da diferença entre os fluxos monetários (*cash-flows*), resultantes da implementação de qualquer um destes sistemas, é definida a rentabilidade do projeto (Dias, 2017).

Na análise económica de um projeto desta dimensão, cujo horizonte temporal para o retorno financeiro é superior a um ano, há que ter em consideração que o valor do dinheiro pode sofrer variações de ano para ano (Dias, 2017). Desta forma, os *cash-flows* são obtidos tendo em consideração uma taxa de atualização que prevê esta variação. A Equação 4.13 demonstra o cálculo dos *cash-flows* atualizados.

$$CFA = \frac{CF_t}{(1+r)^t} \quad (4.13)$$

Onde,

CFA representa o *cash-flow* atualizado;

CF_t representa o *cash-flow* no ano t ;

t representa o ano em estudo;

r representa a taxa de atualização do projeto.

A taxa de atualização representa a rentabilidade a exigir do projeto, tendo em conta o risco associado ao mesmo, e pode ser determinante na capacidade de criar valor num determinado investimento (Xirimimbi, 2018). Um dos métodos que pode ser utilizado para definir a taxa de

atualização é o “ajustamento das taxas de juro das obrigações do tesouro de médio e longo prazo”, representado pela Equação 4.14 (Xirimimbi, 2018):

$$r = (1 + T_1) \times (1 + T_2) \times (1 + T_3) - 1 \quad (4.14)$$

Onde,

r representa a taxa de atualização;

T_1 representa a taxa de rendimento real mínima;

T_2 representa a taxa anual de risco do investimento;

T_3 representa a taxa de inflação.

O pior cenário para a taxa de atualização, na Equação 4.14, será aquele em que todas as taxas envolvidas sejam iguais a 1, resultando numa taxa de atualização de 7%. Este foi o cenário considerado para este trabalho uma vez que, devido à falta de informação, torna possível uma análise mais conservadora do projeto.

Em função dos resultados obtidos na secção 4.2, foram calculados vários indicadores económicos, muito utilizados no estudo da rentabilidade financeira de projetos. O período para o qual se estudou o retorno financeiro dos sistemas foi de 10 anos e os indicadores económicos calculados foram os seguintes:

- VAL – Valor Atual Líquido;
- TIR – Taxa Interna de Retorno;
- PRI – Período de Recuperação do Investimento;
- LCOE – *Levelized Cost Of Energy* (Custo Normalizado da Energia).

Esta análise teve como ponto de partida temporal o ano de 2013 (primeiro ano dos dados disponibilizados), o que significa que, para este estudo, se considerou que o investimento necessário foi realizado em 2012, sendo 2013 o primeiro ano a serem contabilizados os ganhos dos sistemas. Como o período em estudo é de 10 anos (de 2013 até 2022), e os dados fornecidos são até ao ano de 2017, para os anos seguintes (2018 a 2022) admitiu-se o pior cenário possível em termos de poupanças. O ano de 2017 é o pior cenário em termos de poupanças porque, devido a ter sido consumido menos diesel (consequência da menor humidade de colheita do grão), o impacto de um sistema destes é também inferior. Relativamente ao ano 2018, sabe-se que o teor de humidade na colheita do grão irá ser bastante elevado, fruto de ter sido um ano com precipitação até mais tarde do que o normal (Coimbra, 2018), permitindo que, logo neste ano, as poupanças que se preveem obter ao considerar o pior cenário possível sejam inferiores às que se vão efetivamente realizar.

Relativamente aos custos de Operação e Manutenção (O&M), consideraram-se os seguintes cenários: (i) para a caldeiras Gilles HPKI-R 1400 os custos de O&M serão de 5% do investimento inicial; (ii) para o sistema de resistências serão de 15%; (iii) para a caldeira Termo-Tech OP-70 serão de 10%.

VAL – Valor Atual Líquido

O VAL calcula o valor atual do somatório de todos os *cash-flows* do período de investimento, ou seja, é um balanço entre o valor atual do investimento e o valor atual que se prevê através das receitas (Dias, 2017). O VAL é calculado através da Equação 4.15.

$$VAL = \sum_{t=1}^N \frac{R_t - D_t}{(1+r)^t} - I_0 \quad (4.15)$$

Onde,

VAL representa o valor atualizado líquido;

t é o ano em estudo;

I_0 representa o investimento inicial do projeto;

N é período de vida útil do projeto (período de investimento);

R_t representa as receitas e/ou poupanças no ano t ;

D_t representa as despesas de O&M no ano t ;

r representa a taxa de atualização do projeto.

A escala utilizada para medir a rentabilidade de um projeto através do VAL tem em consideração que:

- Para um $VAL < 0$, o projeto representa um mau investimento, causando prejuízo ao investidor;
- Um $VAL = 0$, o projeto representa a fronteira entre um investimento aceitável e um mau investimento;
- Um $VAL > 0$ indica que o projeto tem boas condições para se tornar rentável para o investidor.

A Tabela 4.18 resume o VAL calculado para cada um dos sistemas estudados neste trabalho.

Tabela 4.18 - Resumo do VAL obtido para cada um dos sistemas, para um período de 10 anos

Projeto	Caldeira Gilles HPKI-R 1400	Sistema elétrico		Caldeira Termo-Tech OP-70	
		4 Condutas	1 Conduta	Caroço de azeitona	Casca de amêndoa
VAL (€)	-280 250	74 646	112 699	7 464	- 540

Observa-se que a caldeira Gilles HPKI-R 1400 é, pelos motivos explicados anteriormente, excluída das alternativas tecnológicas para produção de calor renovável na Quinta da Cholda, por apresentar um VAL bastante inviável. O sistema elétrico com uma conduta surge como a mais interessante. A grande vantagem do sistema elétrico com uma conduta é que este estará sempre a funcionar em plena carga, rentabilizando assim ao máximo o investimento, ao contrário do sistema com quatro condutas, onde a maior parte da capacidade do sistema não seria utilizada, como já foi explicado na secção 4.1.1. É necessário relembrar que os indicadores económicos foram obtidos considerando-

se que todos os parques solares da Quinta da Cholda se encontram totalmente pagos e que toda a energia produzida não terá qualquer custo.

A caldeira a biomassa Termo-Tech OP-70 ao ser alimentada com caroço de azeitona também apresenta um VAL positivo, ao contrário da situação em que se utiliza casca de amêndoa. Esta diferença deve-se ao facto de a casca de amêndoa ter um menor conteúdo energético, pelo que será necessária uma maior quantidade, aliado ao facto de ser mais cara, resultando num VAL negativo, invalidando assim a viabilidade do investimento.

TIR – Taxa Interna de Rentabilidade (TIR)

A TIR representa a taxa de atualização para a qual o VAL é nulo. Por outras palavras, ao calcular-se a TIR, o investidor fica a conhecer a taxa máxima para a qual pode contrair um empréstimo e conseguir, pelo menos, pagar todo o financiamento de que necessita (Rosário, 2014). A Equação 4.16 demonstra o cálculo da TIR, onde, através de uma breve análise comparativa, se pode observar que esta representa a equação de cálculo do VAL igualada a zero, resolvida em ordem a r na Equação 4.15.

$$0 = \sum_{t=1}^N \frac{R_t - D_t}{(1 + TIR)^t} - I_0 \quad (4.13)$$

Onde,

t é o ano em estudo;

I_0 representa o investimento inicial do projeto;

N é período de vida útil do projeto (período de investimento);

R_t representa as receitas e/ou poupanças no ano t ;

D_t representa as despesas de O&M no ano t .

A Tabela 4.19 resume os valores da TIR para cada um dos sistemas estudados neste trabalho. Sabendo que, como ponto de partida, se considerou uma taxa de atualização de 7% para todos os sistemas, qualquer TIR inferior a esse valor será um mau indicador para o investimento.

Tabela 4.19 - Resumo da TIR obtida para cada um dos sistemas, para um período de 10 anos

Projeto	Caldeira Gilles HPKI-R 1400	Sistema elétrico		Caldeira Termo-Tech OP-70	
		4 Condutas	1 Conduta	Caroço de azeitona	Casca de amêndoa
TIR (%)	-14,63	47,32	196,22	19,67	5,91

O sistema elétrico composto por uma conduta apresenta-se, mais uma vez, como sendo o mais vantajoso. À exceção da caldeira Gilles HPKI-R 1400 (onde mais uma vez é demonstrada a

inviabilidade do investimento) e da Termo-Tech OP-70 (fazendo uso de casca de amêndoa), todos os projetos apresentam uma TIR bastante interessante do ponto de vista económico.

PRI – Período de Recuperação do Investimento

Em qualquer investimento, que tenha como objetivo obter-se um retorno financeiro, existe um ano em que os lucros gerados pelo projeto igualam o valor do investimento inicial. O tempo que leva a chegar-se a este ano designa-se por período de recuperação do investimento (PRI), ou *payback time* (Dias, 2017). A Equação 4.17, resolvida em ordem a t , representa o cálculo do PRI.

$$\sum_{t=1}^N \frac{R_t}{(1+r)^t} = \sum_{t=1}^N \frac{D_t}{(1+r)^t} + I_0 \quad (4.17)$$

Onde,

I_0 representa o investimento inicial do projeto;

N é período de vida útil do projeto (período de investimento);

R_t representa as receitas e/ou poupanças no ano t ;

D_t representa as despesas de O&M no ano t ;

r representa a taxa de atualização do projeto.

A Tabela 4.20 resume os resultados para o PRI de cada um dos sistemas estudados neste trabalho.

Tabela 4.20 - Resumo do PRI obtido para cada um dos sistemas, para um período de 10 anos

Projeto	Caldeira Gilles HPKI-R 1400	Sistema Elétrico		Caldeira Termo-Tech OP-70	
		4 Condutas	1 Conduta	Caroço de azeitona	Casca de amêndoa
PRI (anos)	Nunca	1 (2014)	0 (2013)	3 (2016)	6 (2019)

Pela análise da Tabela 4.20 constata-se que, à exceção da caldeira Gilles HPKI-R 1400, todos os investimentos garantem retorno financeiro. Entre estes, o pior caso corresponde à utilização de casca de amêndoa na caldeira Termo-Tech OP-70, onde apenas se obtém retorno no sexto ano de exploração (2019).

De seguida, são apresentadas figuras (Figuras 4.3 a Figura 4.7) do *cash-flow* de cada um dos sistemas, onde pode ser visto o PRI de cada um deles (ano em que o *cash-flow* passa a ser positivo), à exceção do projeto com a caldeira Gilles HPKI-R 1400.

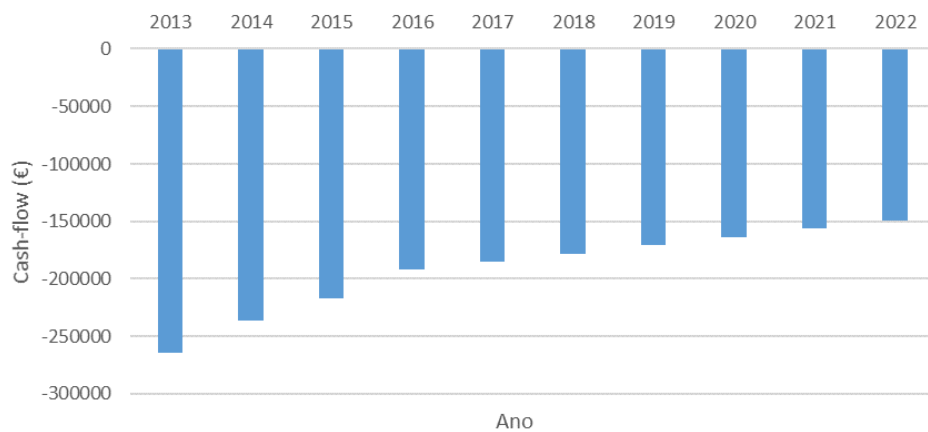


Figura 4.3 - *Cash-flow* da caldeira Gilles HPKI-R 1400 (não apresenta PRI)

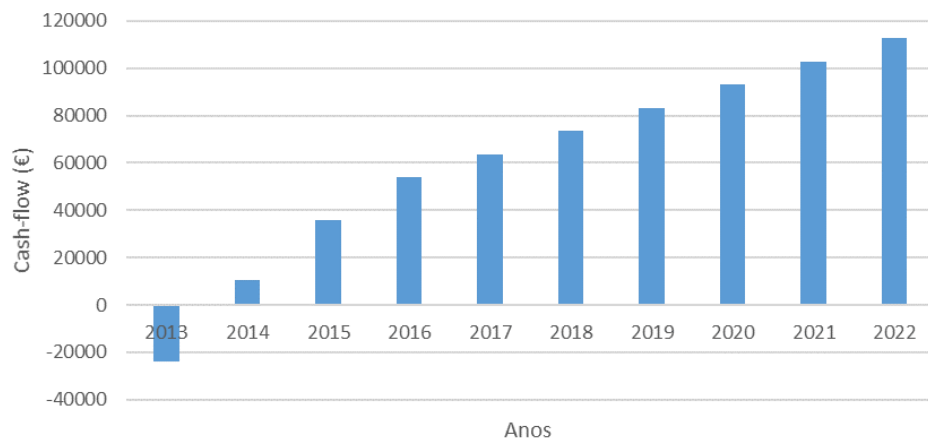


Figura 4.4 – *Cash-flow* do sistema elétrico com quatro condutas, com o PRI no ano 2014

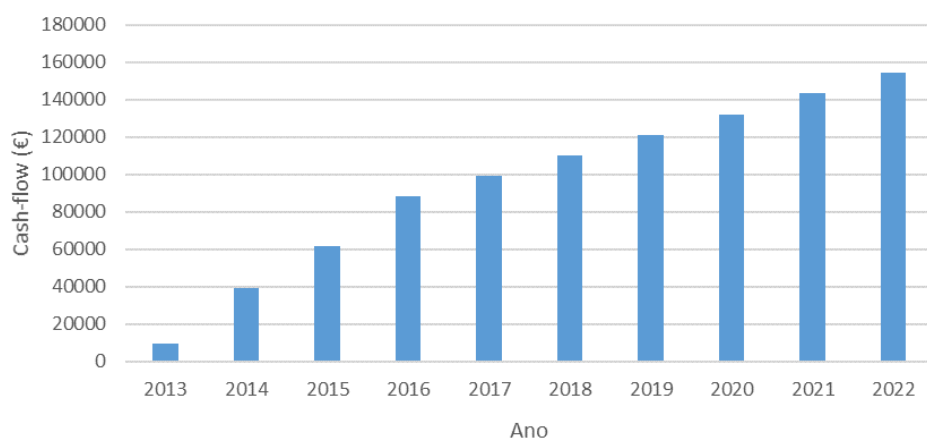


Figura 4.5 – *Cash-flow* do sistema elétrico com uma conduta, com o PRI no ano 2013

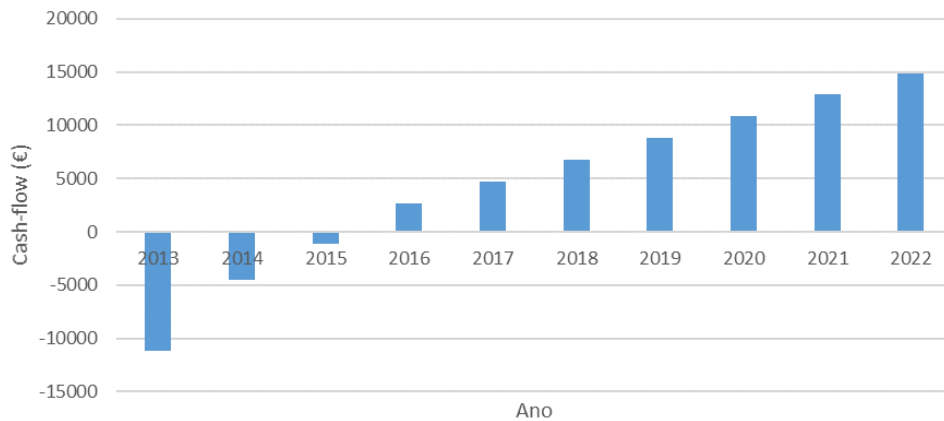


Figura 4.6 – *Cash-flow* da caldeira Termo-Tech OP-70, utilizando caroço de azeitona, com o PRI no ano 2016

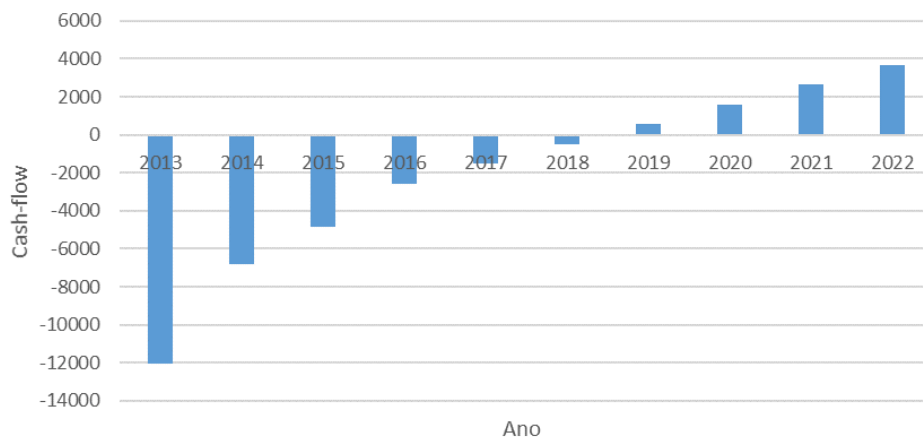


Figura 4.7 – *Cash-flow* da caldeira Termo-Tech OP-70, utilizando casca de amêndoa, com o PRI no ano 2019

LCOE – Levelized Cost Of Energy (Custo Normalizado da Energia)

O LCOE pode ser definido como o custo total do investimento, durante o seu tempo de vida útil, dividido pela totalidade da energia gerada durante esse período (€/kWh) (Pawel, 2014). Este indicador permite assim comparar os custos de produção energética de cada um dos sistemas, o que poderá servir como fator decisivo para um projeto a longo prazo, em que o custo inicial pode ser superior, mas a dada altura o facto de ter um LCOE menor, pode ser mais vantajoso que os restantes sistemas. A Equação 4.18 representa o cálculo do LCOE e a Tabela 4.21 apresenta os resultados desse indicador económico para cada um dos sistemas.

$$LCOE = \frac{I_0 + \sum_{t=1}^N \frac{D_t}{(1+r)^t}}{\sum_{t=1}^N \frac{E_t}{(1+r)^t}} \quad (4.18)$$

Onde,

$LCOE$ representa o Levelized Cost Of Energy (custo normalizado da energia);

I_0 representa o investimento inicial do projeto;

N é período de vida útil do projeto (período de investimento);

D_t representa as despesas de O&M no ano t ;

E_t representa a energia produzida no ano t ;

r representa a taxa de atualização do projeto.

Tabela 4.21 – Resumo do LCOE obtido para cada um dos sistemas, para um período de 10 anos

Projeto	Caldeira Gilles HPKI-R 1400	Sistema elétrico		Caldeira Termo-Tech OP-70	
		4 Condutas	1 Conduta	Caroço de azeitona	Casca de amêndoa
LCOE (€/MWh)	103,7	33,1	11	28,7	28,7

Mais uma vez, os resultados para cada um dos sistemas segue a mesma tendência dos indicadores apresentados anteriormente, destacando-se o sistema elétrico com uma conduta como o mais viável e a caldeira Gilles HPKI-R 1400 como a menos viável. A característica determinante para a diferença do LCOE para os dois tipos de sistemas elétricos reside no facto de que, com apenas uma conduta, esta irá trabalhar sempre em plena capacidade, aumentando assim a rentabilidade do sistema.

Neste indicador, constata-se ainda que o custo de produção de energia na caldeira Termo-Tech OP-70 é inferior ao do sistema elétrico com quatro condutas, possivelmente devido ao facto da caldeira trabalhar sempre à capacidade máxima, retirando-se assim o melhor proveito do sistema.

Pode-se ainda observar que o LCOE, no caso da caldeira Termo-Tech OP-70, é igual para cada um dos combustíveis. Isto acontece porque o cálculo deste indicador depende apenas do investimento inicial e dos custos de O&M, que são iguais seja qual for o combustível utilizado.

5. Conclusões e Sugestões de Trabalhos Futuros

Sendo o tema deste trabalho o estudo sobre a produção sustentável de calor para o processo de secagem de grão de milho, no caso específico da Quinta da Cholda, concluiu-se que é possível satisfazer as necessidades energéticas deste processo, utilizando energia renovável em detrimento da fonte energética atual – o diesel.

Este estudo foi realizado com os dados fornecidos para os últimos cinco anos de exploração da quinta (2013 a 2017) e com base em duas fontes de energia renováveis (biomassa e fotovoltaica); apenas a biomassa será capaz de satisfazer totalmente as necessidades energéticas do processo de secagem nesses anos. A energia fotovoltaica, produzida pelo parque solar da quinta, não teria sido suficiente em 2015 e em 2016, anos em que teria sido necessário recorrer-se à rede elétrica para se obter o restante da energia necessária.

Relativamente ao uso de biomassa como fonte energética, foram estudados dois tipos de caldeiras, cada uma fazendo uso de diferentes tipos deste combustível. Enquanto a caldeira da marca Gilles conseguia garantir toda a energia necessária, utilizando o carolo de milho obtido durante a colheita do grão, a caldeira da marca Termo-Tech seria capaz de fornecer entre 24% a 36% da energia necessária ao processo de secagem, através da queima de carolo de azeitona ou casca de amêndoa. Com a supressão de todo o consumo de diesel através da caldeira da marca Gilles, seria possível reduzir-se as emissões de CO₂ entre 80 a 181 toneladas, enquanto que com a utilização da caldeira Termo-Tech reduziam-se entre 25 a 44 toneladas deste GEE.

Entre os vários tipos de biomassa estudados, o pó de milho obtido durante a secagem do próprio grão revelou-se muito pouco relevante em termos energéticos, tendo o carolo de milho demonstrado um elevado potencial energético para a secagem do próprio grão. Como alternativa às biomassas existentes na quinta, estudou-se a hipótese de compra de caroço de azeitona e casca de amêndoa, para se utilizar na caldeira Termo-Tech; o caroço de azeitona revelou-se como o mais rentável, não só devido ao maior conteúdo energético, como também devido ao menor custo de aquisição.

O sistema elétrico de aquecimento do ar apresentou-se como o mais viável, tendo sido estudadas duas alternativas iguais às que foram descritas para o uso de biomassa: um sistema que garanta o fornecimento de toda a energia necessária (quatro condutas), e outro que forneça apenas parte da energia (uma conduta). Em termos de redução de emissões de CO₂, o sistema de quatro condutas terá o mesmo impacto que a caldeira da marca Gilles, enquanto que o sistema com apenas uma conduta seria capaz de reduzir entre 74 a 132 toneladas de CO₂, fornecendo entre 71% a 87% da energia necessária.

Como este é um projeto que requer investimento, realizou-se a sua análise económica, tendo-se calculado alguns indicadores financeiros: VAL, TIR, PRI e LCOE para um horizonte temporal de dez anos, considerando como ano de investimento o ano de 2012 (de forma a aproveitar os dados conhecidos sobre os cinco anos seguintes). Da análise realizada foi possível concluir-se que a caldeira a biomassa do fabricante Gilles é inviável em termos de investimento, apresentado um VAL negativo e sem nunca se obter um retorno financeiro durante o período estipulado (10 anos). A caldeira Termo-Tech apresentou diferenças consoante o tipo de biomassa utilizada, sendo que o caso mais favorável

será a utilização de caroço de azeitona devido ao seu maior conteúdo energético e menor custo de aquisição, relativamente à casca de amêndoa.

O sistema elétrico, em termos de indicadores económicos, apresentou-se como o mais viável, devido sobretudo ao facto de se ter considerado que todo o parque solar estará já pago. Para as duas hipóteses estudadas neste sistema, o sistema com apenas uma conduta revelou-se bastante viável, com uma TIR de 196,22% e um PRI logo no primeiro ano de exploração. Isto deve-se ao facto deste sistema trabalhar sempre em plena capacidade, ao contrário do sistema com quatro condutas que foi projetado para garantir a potência máxima dos secadores existentes na quinta.

É de salientar ainda que, a análise económica realizada para os anos posteriores a 2017 (de 2017 a 2022), considerou que, em cada ano, os ganhos seriam iguais ao do pior cenário dos últimos cinco anos (2017), e através do contacto com os proprietários da Quinta da Cholda, sabe-se que já no ano de 2018 se prevê um consumo de diesel bastante elevado, devido aos elevados teores de humidade com que o grão será colhido. Face ao maior custo de utilização do diesel relativamente aos sistemas apresentados, prevê-se que neste ano (2018) a poupança obtida seria superior ao que foi considerado para o pior cenário possível.

Numa análise final, qualquer um dos sistemas apresentados terá impactos bastante positivos para o ambiente, onde se destacam a caldeira Gilles e o sistema elétrico com quatro condutas. Já os sistemas que garantem apenas parte da energia também terão um impacto bastante positivo em termos de emissões, envolvendo menores custos com o investimento no projeto.

Finalmente, deixam-se as seguintes sugestões para trabalhos futuros. Sendo o âmbito deste trabalho o estudo de uma alternativa à produção energética atual na Quinta da Cholda, o principal objetivo após a conclusão deste será o de acompanhar a Quinta na continuação da adaptação do estudo à realidade, prestando todo o apoio necessário em virtude do maior conhecimento adquirido após a realização do trabalho.

Dando seguimento à investigação realizada na presente dissertação, será interessante estudar-se um modelo matemático atualizado que preveja o comportamento do grão em função das condições de secagem, mais precisamente com a utilização de energia renovável.

Referências Bibliográficas

- A.G. Meiering, T.B. Daynard, R. Brown, L. O. (1976). Drier performance and energy use in corn drying. School of Engineering and Department of Crop Science - University of Guelph.
- ANPROMIS (Associação Nacional dos Produtores de Milho e Sorgo) (2017). Evolução das áreas de Milho - Total Nacional (Grão/Silagem) (2004 a 2017). Disponível em <http://www.anpromis.pt/dados-estatisticos/18-area-de-milho-em-portugal.html> (data de consulta: 10 de janeiro de 2018)
- Alvan Blanch – Processing the World's Crops and Materials - <http://www.alvanblanchgroup.com/grain-drying-ventilation> - (data de consulta: 08/05/2018 às 22h)
- Ahmad, M., Mirani, A. A., Mahmood, H. S., & Saeed, M. A. (2014). Performance evaluation of Cross-Flow Rice Dryers Munir Ahmad*, Asif Ali Mirani**, Hafiz Sultan Mahmood**, Tanveer Ahmad** and Muhammad Azhar Saeed**, 27(4), 277–286.
- Alexandre, J. P. N. (2015). Impacto da Nova Legislação sobre o Regime de Autoconsumo de Energia.
- Alves, C. B. A. (2014). Net metering : definição de metodologia e estudo de caso, 1–126.
- Aziz, N. (2016). Experimental Design of Compact Heat Exchanger for Waste Heat Recovery of Diesel Engine Exhaust Gases for Grain Dryers. *International Journal of Engineering Research & Technology (IJERT)*, 5(03), 333–338.
- Barbosa, G. S. (2008). O Desafio Do Desenvolvimento Sustentável. *Visões*, 4(4), 63–72.
- Barros, J., & Calado, J. (2014). A Cultura do Milho, 1–52. Retrieved from <https://dspace.uevora.pt/rdpc/bitstream/10174/10804/1/Sebenta-milho.pdf>.
- Barrozo, M. A. S., Felipe, C. A. S., Sartori, D. J. M., & Freire, J. T. (2006). Quality of soybean seeds undergoing moving bed drying: Countercurrent and crosscurrent flows. *Drying Technology*, 24(4), 415–422. <https://doi.org/10.1080/07373930600611638>
- Belo, M. (2012). ESTUDO DE DIFERENTES VARIEDADES DE MILHO UTILIZADAS NA PRODUÇÃO DE BROA.
- Biagini, E., Barontini, F., & Tognotti, L. (2015). Gasification of agricultural residues in a demonstrative plant: Corn cobs. *Bioresource Technology*, 173, 110–116. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2014.09.086>
- BP - https://www.bp.com/content/dam/bp-country/pt_pt/produtos-servicos/fichasseguranca/pdf/20150418/BP-GasolinaUltimate98-Gasolina-s_chumbo98.pdf (data de consulta: 13 de abril de 2018)
- Brinker, J. (2010). 8.16 Estudo da eficiencia energética de 2 secadores solares.pdf. In *Energy Efficiency Study on Two Wisconsin Grain Drying Systems: Mixed Flow and Continuous Cross*

Flow Grain Dryers (p. 8).

Carvalho, S. A. de, Sobrinho, L. L. P., & Ramires, C. C. (2015). O paradigma de desenvolvimento sustentável e de sustentabilidade na modernidade: utopia ou realidade? *Revista FSA*, 12(1), 61–78.

Casa do Lavrador – Soluções de aquecimento - <http://www.casa-do-lavrador.com/products/caroco-de-azeitona-biocombustivel/> - Data da consulta: 14 de agosto às 14h – Conversa telefónica realizada a 21 de agosto de 2018.

Casemg – Companhia de Armazéns e Silos de Minas Gerais - <http://www.casemg.gov.br/index.php/servicos/secagem-de-graos/> - (data de consulta: 06 de maio de 2018)

CaldeirasBiomassa – Central de vendas Online gerida pela empresa Central Fachás – <http://www.calderasbiomassa.com/produto/THERM70OP/gerador-ar-quente-biomassa-termo-op-70-kw/> - Data da consulta 29 de julho de 2018 às 19h

CEPSA - [https://pt.cepsa.com/stfls/CepsaPt/O%20Que%20Oferecemos/Combust%C3%ADveis/Ficheros_Combust%C3%ADveis/Gasolina%20simples%20sPB%2095%20\(Rév.0-Mai.15\).pdf](https://pt.cepsa.com/stfls/CepsaPt/O%20Que%20Oferecemos/Combust%C3%ADveis/Ficheros_Combust%C3%ADveis/Gasolina%20simples%20sPB%2095%20(Rév.0-Mai.15).pdf) (data de consulta: 13 de abril de 2018)

Coimbra (2018) – Comunicação pessoal com o responsável pela Quinta da Cholda – Abril de 2018

Corrêa, P. C., Botelho, F. M., Oliveira, G. H. H., Goneli, A. L. D., Resende, O., & Campos, S. D. C. (2011). Mathematical modeling of the drying process of corn ears. *Acta Scientiarum. Agronomy*, 33(4), 575–581. <https://doi.org/10.4025/actasciagron.v33i4.7079>

Corrêa, P. C., Machado, P. F., & Andrade, E. T. D. E. (2001). Milho-Pipoca. *Ciência E Agrotecnologia*.

Demirbas, A. (2005). Potential applications of renewable energy sources, biomass combustion problems in boiler power systems and combustion related environmental issues. *Progress in Energy and Combustion Science*, 31(2), 171–192. <https://doi.org/10.1016/j.pecs.2005.02.002>

Dias, J. (2017). Projeto Económico-Financeira Um Análise Económico-Financeira Um. Retrieved from <http://hdl.handle.net/10773/23276>

Eduardo, M., Cavalcanti Mata, R. M., Dantas, L. A., & Duarte Braga, M. E. (1999). Programa computacional para simulação de secagem de grãos, (11), 33–50.

Eusébio, T. R. (2017). Produção combinada de calor , frio e eletricidade com energia solar concentrada. *Universidade de Lisboa, Faculdade de Ciências*. Retrieved from <http://hdl.handle.net/10451/31935>

- EUROSTAT - Glossário de Estatísticas e Transportes – Comissão Económica para a Europa
http://ec.europa.eu/eurostat/ramon/coded_files/transport_glossary_4_ed_PT.pdf (data de consulta: 25 de janeiro de 2018)
- Engineeringtoolbox - https://www.engineeringtoolbox.com/fluids-evaporation-latent-heat-d_147.html -
 Data da consulta: 02 de setembro de 2018
- EPA, 2018 – United States Environmental Protection Agency -
<https://www.epa.gov/greenvehicles/greenhouse-gas-emissions-typical-passenger-vehicle> - Data da consulta: 16 de agosto de 2018.
- Faria, A. M., Vasconcelos, A., & Farias, T. (2008). Avaliação energética e ambiental das viagens pendulares de alunos do IST. *CLIMA 2008 - 1º Congresso Nacional Sobre Alterações Climáticas*, (May 2014).
- FAO (Food and Agriculture Organization of the United Nations) -
<http://www.fao.org/faostat/en/#data/QC> - (data de consulta: 02 de maio de 2018)
- Filipe, P., & Pereira, M. (2015). a Produção Fotovoltaica Em Portugal (Análise Da Legislação Em Vigor E Do Custo/Benefício). Retrieved from
https://sigarra.up.pt/flup/pt/pub_geral.show_file?pi_gdoc_id=421775
- Fratelli Pedrotti Company - <http://www.pedrottisrl.it/uk/consumo-energetico-essiccatoi.html> (data de consulta: 10 de abril de 2018)
- Friedl, A., Padouvas, E., Rotter, H., & Varmuza, K. (2005). Prediction of heating values of biomass fuel from elemental composition. *Analytica Chimica Acta*, 544(1–2 SPEC. ISS.), 191–198.
<https://doi.org/10.1016/j.aca.2005.01.041>
- Galp - https://tfreitas.pt/_files/200000061-d27ebd378b/GASOLEO-DPD.pdf (data de consulta: 13 de abril de 2018)
- Gilles – Biomass Heating - <https://www.gilles.at/en/products/industrialplant> – Estimativa orçamental recebida por email - Data da consulta 27 de agosto de 2018
- Grisso, R. D., Kocher, M. F., & Vaughan, D. H. (2004). Predicting Tractor Diesel Fuel Consumption. *Applied Engineering in Agriculture*, 20(5), 553–561.
- Incropera, F. P., DeWitt, D. P., Bergman, T. L., & Lavine, A. S. (2007). *Fundamentals of Heat and Mass Transfer. US Patent 5,328,671*. <https://doi.org/10.1073/pnas.0703993104>
- INE (Instituto Nacional de Estatística) (2017). Estatísticas Agrícolas 2016. ISSN: 0079-4139. ISBN: 978-989-25-0395-0.
- IEA (International Energy Agency) – Unit converter
<https://www.iea.org/statistics/resources/unitconverter/> (data de consulta: 24 de janeiro de 2018)


- IPMA – Instituto Português do Mar e da Atmosfera - <http://www.ipma.pt/> – Data da consulta: 01 de agosto de 2018
- ISEL – Tabelas de termodinâmica I – Instituto Superior de Engenharia de Lisboa – Suporte em papel fornecido pela instituição
- Jamradloedluk, J., & Lertsatitthakorn, C. (2017). Influences of Mixing Ratios and Binder Types on Properties of Influences of Biomass Pellets. *Energy Procedia*, 138, 1147–1152. <https://doi.org/10.1016/j.egypro.2017.10.223>
- Jokiniemi, H. T., & Ahokas, J. M. (2014). Drying process optimisation in a mixed-flow batch grain dryer. *Biosystems Engineering*, 121, 209–220. <https://doi.org/10.1016/j.biosystemseng.2014.01.002>
- Kadam, K., & McMillan, J. (2003). Availability of corn stover as a sustainable feedstock for bioethanol production. *Bioresource Technology*, 88(1), 17–25.
- Kaliyan, N., & Morey, R. V. (2010). Densification characteristics of corn cobs. *Fuel Processing Technology*, 91(5), 559–565. <https://doi.org/10.1016/j.fuproc.2010.01.001>
- Khatchatourian, O. A., Vielmo, H. A., & Bortolaia, L. A. (2013). Modelling and simulation of cross flow grain dryers. *Biosystems Engineering*, 116(4), 335–345. <https://doi.org/10.1016/j.biosystemseng.2013.09.001>
- Kotly - <https://kotly.com.pl/produkt-air-heater-termo-tech-op-70-kw-4482.html?l=en> – Data de consulta: 12 de junho de 2018
- Kumar, M., Sansaniwal, S. K., & Khatak, P. (2016). Progress in solar dryers for drying various commodities. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 55, 346–360. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2015.10.158>
- Mazzuco, H., Lorini, I., Rabenschlag De Brum, P. A., Zanotto, D. L., Barioni, W., & De Avila, V. S. (2002). Composição Química e Energética do Milho com Diversos Níveis de Umidade na Colheita e Diferentes Temperaturas de Secagem para Frangos de Corte. *Revista Brasileira de Zootecnia*, 31(6), 2216–2220.
- McBratney, A. B., Whelan, B., Ancev, T., & Bouma, J. (2005). Future Directions of Precision Agriculture. *Precision Agriculture*, 6(July 2004), 7–23. <https://doi.org/http://dx.doi.org/10.1007/s11119-005-0681-8>
- McKendry, P. (2002). Energy production from biomass (part 1): overview of biomass. *Bioresource Technol*, 83(1), 37–46. [https://doi.org/10.1016/S0960-8524\(01\)00118-3](https://doi.org/10.1016/S0960-8524(01)00118-3)
- Mikaél A. Bramson: Infrared Radiation, A Handbook for Applications, Plenum Press, N.Y (para a emissividade da resistência

- Moderator - <http://www.moderator.com.pl/en/products/industrial-solutions/automatic-biomass-burning-sets-with-cast-iron-burners> - data de consulta: 24 de julho de 2018
- Muhammadu Masin, & Abraham Adebayo. (2012). Design, fabrication and testing of solar dryer for drying cassava chip, 4(11).
- Muthukumarappan, K., & Singha, P. (2010). Grain Drying Systems. In *Encyclopedia of Agricultural, Food, and Biological Engineering, Second Edition* (pp. 1–3). CRC Press.
<https://doi.org/10.1081/E-EAFE2-120053467>
- Nascimento, C. A. Do. (2004). Princípio De Funcionamento Da Célula Fotovoltaica. *Monografia Apresentada Ao Departamento de Engenharia Da Universidade Federal de Lavras, Como Parte Das Exigências Do Curso de Pós-Graduação Lato-Sensu Em Fontes Alternativas de Energia-Lavras MG*, 21.
- Nhuchhen, D. R., & Abdul Salam, P. (2012). Estimation of higher heating value of biomass from proximate analysis: A new approach. *Fuel*, 99, 55–63. <https://doi.org/10.1016/j.fuel.2012.04.015>
- Parikh, J., Channiwala, S. A., & Ghosal, G. K. (2005). A correlation for calculating HHV from proximate analysis of solid fuels. *Fuel*, 84(5), 487–494. <https://doi.org/10.1016/j.fuel.2004.10.010>
- Pawel, I. (2014). The cost of storage - How to calculate the levelized cost of stored energy (LCOE) and applications to renewable energy generation. *Energy Procedia*, 46, 68–77.
<https://doi.org/10.1016/j.egypro.2014.01.159>
- Pereko – Caldeiras a Biomassa - <http://www.pereko.pt/series-ksr-pro/> - (data de consulta: 12 de junho de 2018)
- Perez, R., & Perez, M. (2015). A Fundamental Look At Supply Side Energy Reserves For The Planet. *The International Energy Agency SHC Programme Solar Update*, 62(April 2009), 4–6.
<https://doi.org/http://dx.doi.org/10.1016/j.enconman.2015.02.007>
- Repsol - https://www.repsol.pt/imagenes/repsolporpt/pt/FDS_Gasoleo_Rev3.4_tcm101-117100.pdf
(data de consulta: 13 de abril de 2018)
- Resiprel, Lda – fabricante de resistências elétricas - <http://resiprel.pt/pt> - Conversa telefónica realizada a 31 de julho de 2018.
- Resul – Equipamentos de Energia - <http://www.resul.pt/files/13813280060.pdf> - (data de consulta: 29 de maio de 2018)
- Risques, A. (2015). *Avaliação do aproveitamento da palha do milho (Zea mays L.) para bioenergia, nos sistemas de produção do Vale do Tejo*. Instituto Politecnico de Santarém.
- Rosário, L. (2014). *ANÁLISE DA VIABILIDADE ECONÓMICA E FINANCEIRA DE PROJETOS DE INVESTIMENTO EM CABO VERDE*. INSTITUTO SUPERIOR DE CIÊNCIAS ECONÓMICAS E EMPRESARIAIS.

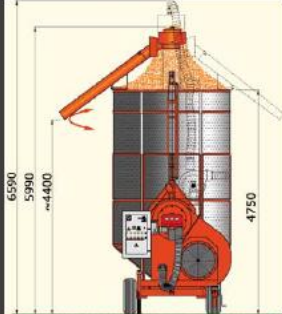
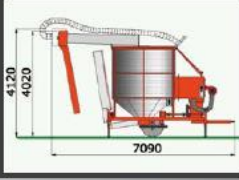

- Sandometal – Metalomecânica e ar condicionado SA - <http://www.sandometal.pt/> - Conversa telefónica realizada em 27 de agosto de 2018
- Saidur, R., Abdelaziz, E. A., Demirbas, A., Hossain, M. S., & Mekhilef, S. (2011). A review on biomass as a fuel for boilers. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 15(5), 2262–2289. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2011.02.015>
- SCRIBD - <https://pt.scribd.com/document/64057743/tabela-de-emissividade> - Data da consulta: 15 de agosto de 2018.
- Seo, J., Park, J., Oh, Y., & Park, S. (2016). Estimation of total transport CO₂emissions generated by medium- and heavy-duty vehicles (MHDVs) in a sector of Korea. *Energies*, 9(8). <https://doi.org/10.3390/en9080638>
- Serra, F. A. R. (2017). Comentário editorial: dez recomendações para aumentar a possibilidade de publicação do seu artigo, 16(3), 1–4. <https://doi.org/10.5585/rae.v16i3.Vol>.
- Sharma, A., Chen, C. R., & Lan, N. V. (2009). Solar-energy drying systems : A review, 13, 1185–1210. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2008.08.015>
- Sodeca – Catálogos de ventilação - <http://www.sodeca.pt> – Data da consulta: 24 de agosto de 2018
- TabelaPeriodica.org – Tabela dos elementos químicos - <https://www.tabelaperiodica.org/> - (data de consulta: 31 de julho de 2018)
- Termo-Tech - http://www.kotlyco.pl/produkt/_prod:d25 – (data da consulta: 29 de julho de 2018)
- Thuillard, M., Reider, F., Sc, M., & Henze, G. P. (2014). Estratégias de Eficiência Energética aplicadas a Permutadores de Calor. In *ASHRAE Winter Conference*.
- Vargas-moreno, J. M., Callejón-ferre, A. J., Pérez-alonso, J., & Velázquez-martí, B. (2012). A review of the mathematical models for predicting the heating value of biomass materials. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 16(5), 3065–3083. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2012.02.054>
- Xirimimbi, A. (2018). Avaliação de Projetos de Investimentos Em contexto de Risco e Incerteza.
- Yu, P. Y., & Cardona, M. (1999). *Fundamentals of Semiconductors*. <https://doi.org/10.1007/978-3-662-03848-2>
- World Energy Council - <https://www.worldenergy.org/data/resources/resource/solar/> - (data de consulta: 23 de abril de 2018)

Anexos

Anexo A – Ficha técnica do secador *Fratelli Pedrotti Super 100*



SUPER 100

TECHNICAL DATA

Batch capacity
Tons wet maize 10 (14 m³)

AVERAGE DAILY OUTPUT 24h in tons

Maize from 28% to 14%	45
Wheat/Barley from 20% to 15%	60
Oil seed rape from 14% to 9%	55

POWER REQUIRED
Model Pto drive - Tractor min. size of HP 65
or single electric drive motor 30 kW (40 HP)

Model electric drive - Mains supply line of kW 23

Size main electric motor	(kW)	(HP)
- fan	11.5	15
- central auger	15	20
- filling auger	5.5	7.5
- dust extractor	2.2	3
- burner	0.75	1

FAN
Design centrifugal
Revs/Min. 1.450
Air flow m³/h max * 35.000
* The air flow volume refers to the fan as separate unit.

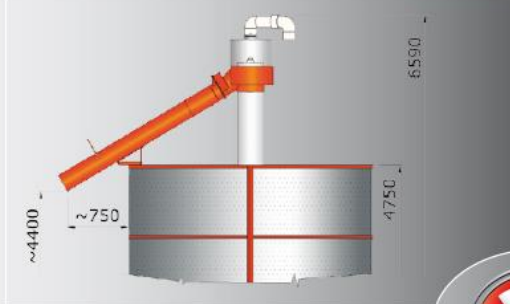
BURNER
Diesel, Automatic twin stage (Gas as option)
Caloric power Kcal/h max. 700.000

Centre Auger Ø 350 mm, capacity tons/h 65
Filling Auger Ø 200 mm, capacity tons/h 45


FUEL CONSUMPTION
Liters per ton of maize from 28% to 14% approx 15
Kcal per liter of water evaporated approx 900

N.B: All performance figures are largely depending of the ambient temperature, relative air humidity, maturity and cleanliness of crops to be dried

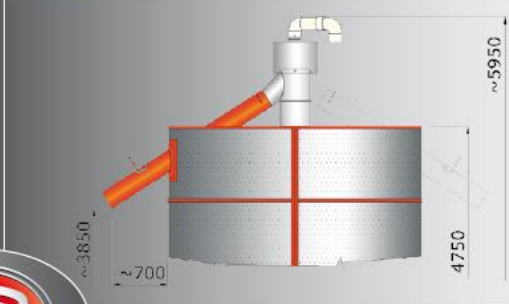
A Option with dust extractor
Single roll discharging chute working in two positions



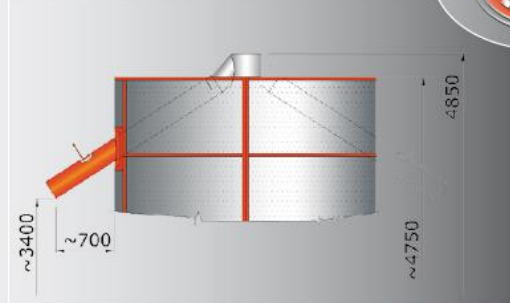
Alternative discharging options
O/A heights refer to fix screen machine



B Option for lowest height with dust extractor
Single fix discharging chute - double as option

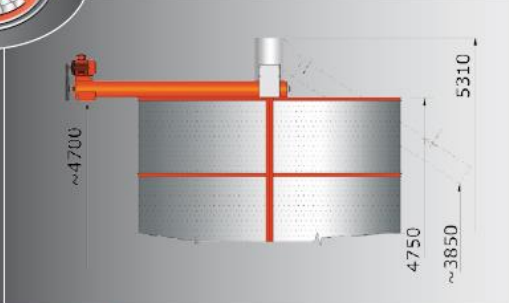


C Option for lowest height
Single fix discharging chute - double as option



SUPER 100

D Option for horizontal discharging chute
Single fix discharging chute, fix and motorized



CALDEIRAS BIOMASSA

WWW.CALDEIRASBIOMASSA.COM



GERADORES DE AR QU: GERADORES DE AR QU

GERADOR AR QUENTE BIOMASSA TERMO OP-70 KW

O gerador de ar quente OP-70 é um equipamento de alta eficiência. É usado para fornecer calor para grandes instalações comerciais e industriais, por exemplo, estufas agrícolas, armazéns, carpintarias, oficinas, salões, etc. O aquecedor é feito de aço de caldeira certificado e tem um ventilador axial com baixo ruído e alta eficiência. A troca de calor ocorre durante a passagem de ar através do permutador de calor. A circulação de ar na sala é gerada pelo ventilador, que impede a acumulação de ar quente sob o teto. A versão OP-70 é equipada com um depósito de combustível e um queimador de biomassa. Combustíveis: de forma automática: Pellets, aparas de madeira, casca de pinhão, casca de amêndoa, caroço de azeitona, etc. de forma manual: madeira, briquetes de madeira. As principais vantagens: - Alta eficiência térmica ~ 90%

- Depósito de combustível com queimador de aço
- Capacidade de trabalhar em baixas temperaturas,
- distribuição de calor graças ao ventilador,
- Alta potência e baixos custos operacionais.

PREÇO BASE:

~~€ 4900.00~~

NOSSO PREÇO:

€ 3724.00

POUPA:

€ 1176.00

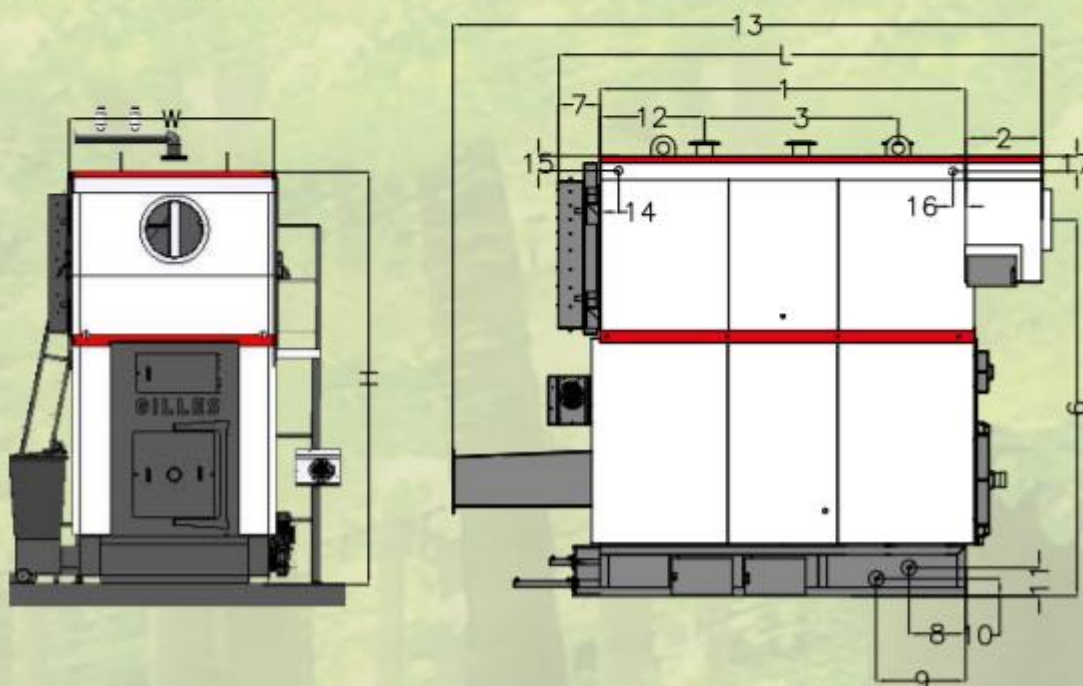
Dimensões exteriores (cm / L x A x P)	1840 x 2950 x 1140cm
Potência Nominal (Kw)	70
Diâmetro chaminé (mm)	194
Eficiência (%)	90
Garantia	2

Anexo C – Ficha técnica da caldeira Gilles HPKI-R 1400

INDUSTRIAL HEATING Specification

INDUSTRIAL BOILER HPKI-R 999 / 1400

Moving step grate – air-cooled



BOILER DATA

OUTPUT in kW	L	W	H	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17
999	3950	1790	3610	3000	630	1590	1470	2140	3090	320	465	735	142	232	860	4840	95	86	95	165
1400	3950	1790	3610	3000	630	1590	1470	2140	3090	320	465	735	142	232	860	4840	95	86	95	165

FLOW/ RETURN DN	Ø mm	WEIGHT FURNACE IN TONS	WEIGHT HEAT EXCHANGER IN TONS	WATER IN LITRE	Kpa at t20°C	FLOW COEFFICIENT in m3/h
125/125	500	14	6	3400	10	43
125/125	500	14	6	3400	10	43



GILLES Energie- und Umwelttechnik GmbH & Co KG

Koaserbauer Straße 16 • 4810 Gmunden / Austria

Tel: +43 7612 73760 • Fax: +43 7612 73760 17 • e-mail: office@gilles.at • www.gilles.at

EN-V1-2015 - Subject to alterations